

工學碩士 學位論文

부산신항만 항로배치에 관한 연구

A Study on the Establishment of a new Ships'
Routeing System for Entering the Busan New Port

指導教授 芮秉德

2005年 2月

韓國海洋大學校 大學院

운항시스템 공학과

成 禎 慶

목 차

표목차	iv
그림목차	vi
Abstract	viii
제1장 서 론	1
1.1 연구의 배경 및 목적	1
1.2 연구의 방법 및 범위	3
제2장 환경요소 조사 · 분석	7
2.1 기상 및 해상 현황	7
2.1.1 바람	7
2.1.2 조류	9
2.2 기존항로 분석	11
2.3 부산신항만 개발 계획	13
제3장 부산신항만 진입항로 항로배치	16
3.1 항로배치 설계기준	16
3.2 선행연구 고찰	18
3.3 항로배치 도출	22

3.4 항로배치의 비교	30
3.4.1 항로의 배치	30
3.4.2 항로폭	31
3.4.3 항로수심	33
3.4.4 선회구역	34
3.5 선박조종 시뮬레이션 검토	36
3.5.1 선박조종 시뮬레이션 조건과 변수	36
3.5.2 선박조종 시뮬레이션 결과	39
3.6 12,000TEU급 컨테이너 선박의 횡압류 영향	43
3.6.1 개 요	43
3.6.2 압류 산출 방식	44
3.6.3 압류 시뮬레이션	47
 제4장 가덕도 부근해역 항로배치	 57
4.1 해상교통조사	57
4.2 선회항로 배치	70
4.2.1 국내 선회항로 연구 사례	70
4.2.2 외국의 유사항로 사례 조사·분석	74
4.2.3 선회항로 배치	77
 제5장 부산신항만 진입항로 및 가덕도 부근해역의	
항로배치	80
5.1 항로배치 기준	80

5.1.1 부산신항만 진입항로 항로배치 기준	80
5.1.2 가덕도 부근해역 항로배치 기준	81
5.2 항로배치	82
5.2.1 항로의 좌표	82
5.2.2 선회항로의 좌표	82
5.2.3 연안통항대의 좌표	84
 제6장 결 론	 87
 참 고 문 헌	 90

표 목 차

<표 2-1> 월별 풍속과 풍향(단위 : m/sec)	7
<표 2-2> 가덕수도 항로의 길이와 폭	12
<표 2-3> 컨테이너 물동량 수요 예측(단위 : 만TEU)	13
<표 2-4> 부산신항만 단계별 사업계획	14
<표 3-1> 기본 항로배치의 상호 비교	29
<표 3-2> 12,000TEU급 컨테이너 선박 제원	30
<표 3-3> 항로의 배치 부분에 관한 적정성	30
<표 3-4> 항로폭에 관한 적정성	31
<표 3-5> 최소 항로폭의 적정성	32
<표 3-6> 항로 수심의 적정성	33
<표 3-7> 선회 구역의 적정성	34
<표 3-8> 실험선박 제원	36
<표 3-9> 시나리오 설계	38
<표 3-10> 주관적 평가 요소의 기술 통계량	39
<표 3-11> 제어도 평가 요소의 기술 통계량	39
<표 3-12> 12,000TEU급 컨테이너 선박의 풍속 변화에 따른 풍압	46
<표 3-13> 12,000TEU급 컨테이너 선박의 조류속력 변화에 따른 유압	47
<표 3-14> 12,000TEU급 컨테이너 선박의 바람 및 조류에 대한 영향	47
<표 3-15> 압류 시뮬레이션 결과	49
<표 4-1> 데이터 기록지	58
<표 4-2> 일일 관측선박	59
<표 4-3> 선종별 분포	66

<표 4-4> 선박 크기 분포	67
<표 4-5> 통항 시간대별 분포	68

그 립 목 차

<그림 1-1> 연구 범위	4
<그림 1-2> Flow Chart	6
<그림 2-1> 바람 장미도	8
<그림 2-2> 가덕도 근해 최강창조류	10
<그림 2-3> 가덕도 근해 최강낙조류	10
<그림 2-4> 가덕수도 항로	11
<그림 2-5> 부산신항만 개발 계획 평면도	15
<그림 3-1> 가덕도 신항만 개발 기본 계획도	18
<그림 3-2> 항로배치 제1안	25
<그림 3-3> 항로배치 제2안	26
<그림 3-4> 항로배치 제3안	27
<그림 3-5> 항로배치 제4안	28
<그림 3-6> 선박조종 시뮬레이션 흐름도	38
<그림 3-7> 제1안 시뮬레이션 결과	41
<그림 3-8> 제4안 시뮬레이션 결과	42
<그림 3-9> 바람과 조류에 의한 압류	43
<그림 3-10> 선속 10kts로 유지하고 타를 사용하여 입항하는 경우	48
<그림 3-11> A 지점(8kts)에서의 편각	50
<그림 3-12> B 지점(6kts)에서의 편각	50
<그림 3-13> C 지점(4kts)에서의 편각	51
<그림 3-14> D 지점(2kts)에서의 편각	52
<그림 3-15> 항로 우측을 따라 입항하는 경우	53

<그림 3-16> 항로 중앙을 따라 입항하는 경우	54
<그림 3-17> 서방과제 남측에서 입항하는 경우	55
<그림 4-1> 통항경로대별 항적도	60
<그림 4-2> 부산~가덕수도간 양방향 선박 항적도	61
<그림 4-3> 일본~가덕수도간 양방향 선박 항적도	62
<그림 4-4> 남해안~가덕수도간 양방향 선박 항적도	63
<그림 4-5> 남해안~부산간 횡단선박 항적도	64
<그림 4-6> 전체 통항량 항적도	65
<그림 4-7> 선종별 분포	66
<그림 4-8> 선박 크기 분포	68
<그림 4-9> 통항 시간대별 분포	69
<그림 4-10> 현행 통항분리대 시물레이션 선박의 항적	71
<그림 4-11> 선회항로 시물레이션 선박의 항적	71
<그림 4-12> 현행 통항분리대의 ESA 분포	73
<그림 4-13> 선회항로의 ESA 분포	73
<그림 4-14> SOMMERS섬 외해	74
<그림 4-15> ODESSA항과 ILICHEVSK항 사이	75
<그림 4-16> FALSTERBOREV 외해	76
<그림 4-17> 선회항로	79
<그림 5-1> 부산신항만 진입항로 항로배치	85
<그림 5-2> 가덕도 부근해역 항로배치	86

A Study on the Establishment of a new Ships' Routeing System for Entering the Busan New Port

Seong, Jeong Kyoung

*Department of Ship Operation Systems Engineering
The Graduate School of Korea Maritime University*

Abstract

The Busan New Port is under construction as the hub port of Northeastern Asia, to deal with Logistics effectively and to enlarge the role of it by 2011. After the opening of Busan New Port in 2011, it is expected that the marine traffic volume around this area will increase significantly, and very large ships such as 12,000TEU class container ships will come into the port. Therefore, it is necessary to establish new routeing measures in this area considering these factors.

This study proposes a new approach for the routeing of Busan New Port to provide safety of vessels and a new roundabout in the vicinity of Gadeokdo. To make the proposals, the preceding studies in Korea and other countries are reviewed to confirm the problems for the existing route and a marine traffic survey is being conducted to research the flow

of marine traffic. The method of experts' opinions and Delphi technique is used, taking into account the environmental and geographical features for the new route. Also, the validation for the suggested routeing was done by several guidelines on the ships' routeing and simulation studies.

The proposal of this study is as follows:

First, the extension of the end of West Breakwater and the southern end of Todo is determined as the West boundary of the fairway for the Busan New Port.

Second, the existing fairway was broadened and the precautionary area was established.

Third, the Inshore Traffic Zone in the southern Gadeokdo was established.

Fourth, the Roundabout at the southern sea area of Gadeokdo was established.

The new routes proposed by this study are expected to contribute to safety considering the increase of marine traffic and very large vessels in the port.

제1장 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

우리나라는 해상 물동량의 원활한 처리와 21세기 동북아시아의 중심항으로서 부산항의 역할을 확대하기 위하여 2011년 완공을 목표로 부산신항만을 개발하고 있다. 건설 중인 부산신항만이 2011년 개장하게 되면 가덕수도를 비롯한 인근해역의 해상교통량 증가 및 초대형 컨테이너 선박의 출입이 예상된다. 따라서 부산신항만이 동북아시아 국제 물류 중심항만으로서의 역할을 확고하게 수행하기 위해서는 대형선박들이 출입 할 수 있는 국제적인 경쟁력을 갖춘 항만시설이 요구된다. 또한 안전하면서도 경제적으로 출입할 수 있는 항로배치, 항로표지의 확충 등과 같은 안전시설의 구축이 필수불가결하게 요구되며, 최근까지 이에 대한 연구가 꾸준히 진행되어 왔다.^{[4][7][12][17]~[19]}

그러나 이러한 연구들에 의해 제안된 항로는 모두 6,000~7,000TEU급 컨테이너 선박을 기준으로 설계되어, 최근 급속히 이루어지고 있는 컨테이너 선박의 대형화 추세를 반영하지 못하고 있다.

특히, 컨테이너 교역량은 앞으로 10년 내에 2배 가까이 증가하고, 화물운임은 지속적으로 하락하여 지금의 컨테이너선으로서의 채산을 맞추기가 어려울 것으로 예상하고 있다. 따라서 1만개 이상의 컨테이너를 운반할 수 있는 초대형 선박을 개발하여 운항함으로서 원가절감과 증가하는 물동량 문제를 해결 할 수 있을 것으로 기대하고 있다.

이에 따라 최근 현대중공업에서는 2004년 9월 8,200TEU급 컨테이너선을

독일에 인도하였고, 8,000TEU급 컨테이너선의 수주잔량도 20척에 달한다. 삼성중공업 역시 8,000~9,000TEU급 컨테이너선 19척, 9,000TEU급 9척 및 9,600TEU급 8척을 수주하였으며, 2004년 9월에는 거제조선소에서 세계최대 규모인 8,500TEU급 컨테이너선 건조를 완료하였다.^{[13]~[16]}

그러나 해운업계에서는 시장의 선점을 위하여 “꿈의 선박”으로 불리어지고 있는 12,000TEU급 컨테이너선의 개발 및 수주에도 본격 착수한다는 방침을 세워두고 있는 상황이다. 한편, 해운산업 컨설팅 업체인 DSC(Drewry Shipping Consultants)에서는 2010년경 12,000TEU급 초대형 컨테이너선이 다수 취항할 것으로 예상하고 있다.

이러한 추세로 볼 때 가까운 미래에 12,000TEU급 초대형 컨테이너 선박의 등장이 예상되고, 부산신항만이 동북아시아 국제 물류 중심항만으로서의 역할을 확고하게 수행하기 위해서는 12,000TEU급 초대형 컨테이너선이 안전하고 경제적으로 부산신항만에 출입할 수 있는 시설을 갖추어야 할 것이다.

이 연구에서는 부산신항만을 이용하게 될 것으로 예상되는 12,000TEU급 초대형 컨테이너 선박이 안전하게 접근하여 출입 할 수 있도록 기존의 항로(가덕수도)를 재배치하였다. 또한 교통량 증가에 따라 더욱 복잡해질 것으로 예상되는 가덕도 부근해역에 대하여 선회항로(Roundabout)를 설정하였다. 이와 같은 항로배치로 부산신항만 개장시 원활한 항만 운영과 함께 안전하고 경제적인 선박통항이 이루어질 수 있는 방안을 제시하고자 한다.

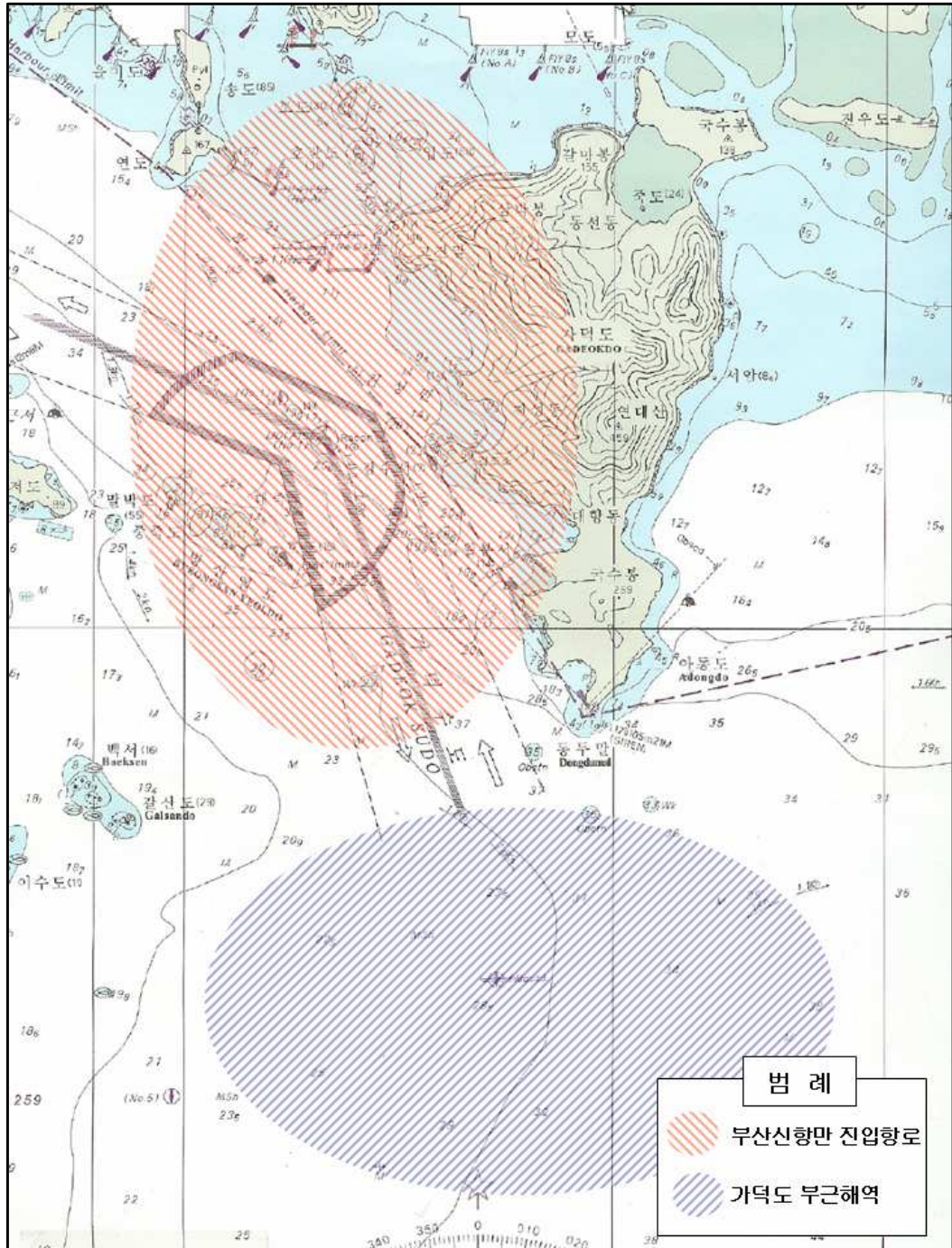
1.2 연구의 방법 및 범위

이 연구에서는 부산신항만에 선박이 안전하게 출입 할 수 있도록 하기 위해 가덕수도와 부산신항만 진입로가 교차되는 해역인 부산신항만 진입항로 및 해상교통량 증가가 예상되는 가덕도 부근해역으로 구분하여 항로를 배치하고자 한다.

부산신항만 진입항로 항로배치는, 먼저 현재의 항로 및 부산신항만 항로배치에 관한 선행연구 결과를 조사·분석하여 기존 항로의 장단점과 문제점을 검토한다. 이후 델파이법 및 전문가 의견법을 이용하여 4개안의 제1차 항로배치를 도출하고, 이에 대해 부산항 도선사 의견수렴을 거쳐 2개안의 제2차 항로배치를 도출한다. 도출된 제2차 항로배치에 대한 항로의 적정성 및 선박 조종 시뮬레이션 검토 등을 고려하여 12,000TEU급 컨테이너 선박이 안전하게 출입할 수 있는 적절한 항로배치를 제시하고자 한다.

가덕도 부근해역 항로배치는 해상 교통의 흐름을 파악하기 위한 해상교통 조사 및 국내 연구사례, 외국의 유사 항로사례 등을 고려하여 가덕도 부근해역에 대한 적절한 항로배치를 제시하고자 한다

이 연구에서 구분하고 있는 부산신항만 진입항로와 가덕도 부근해역은 <그림 1-1>과 같다.



<그림 1-1> 연구 범위

이 연구의 각 장별 내용은 다음과 같다.

제2장은 “환경요소 조사·분석”으로 기상 및 해상자료를 조사하여 항로배치를 수립하는데 기초 자료로 이용하였으며, 선박조종 시뮬레이션 실시시 참고 데이터로 사용하였다. 또 가덕수도 기존항로의 분석 및 부산신항만 개발 계획에 대해 소개하였다.

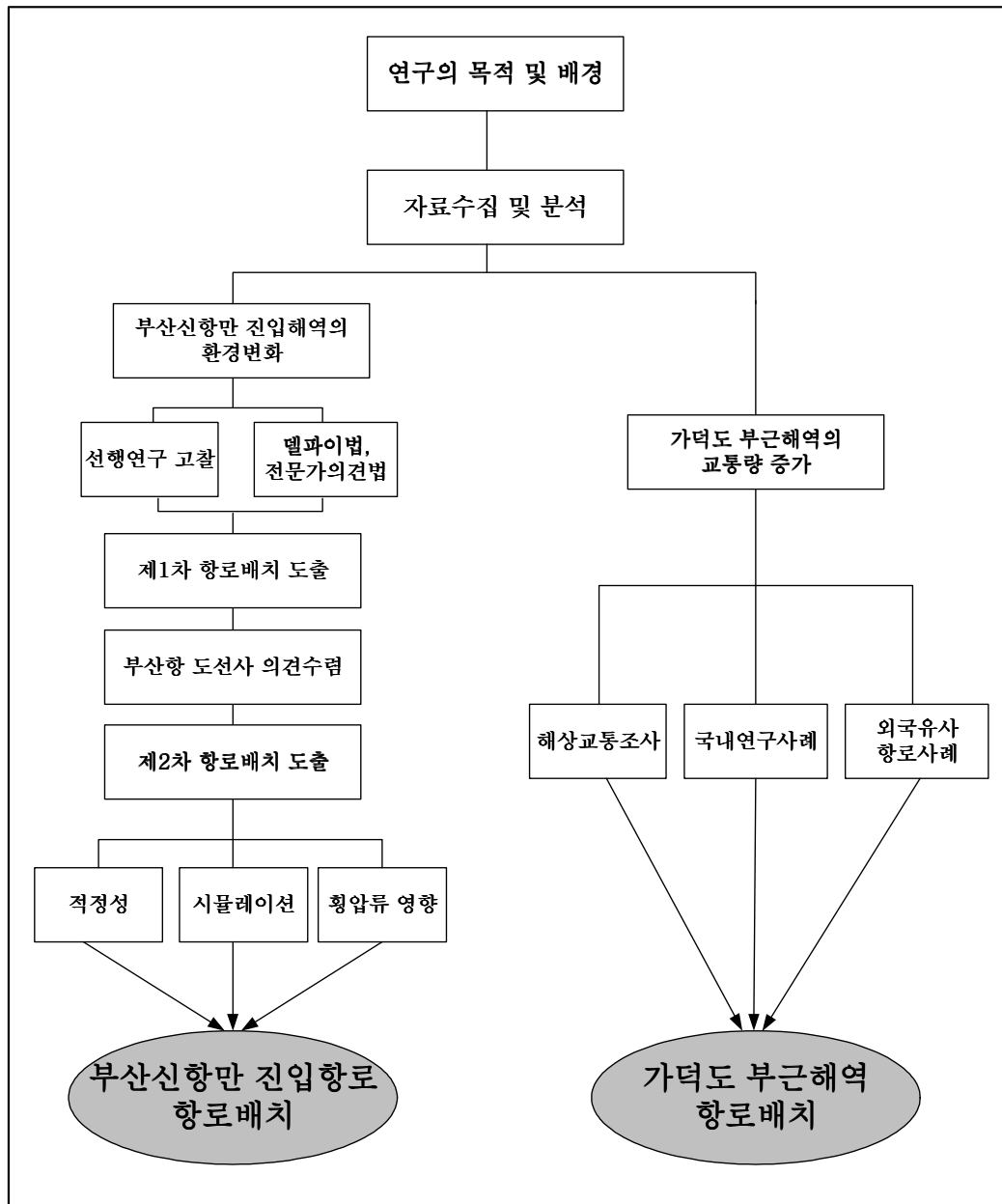
제3장은 “부산신항만 진입항로 항로배치”로 부산신항만의 항로배치 선행연구에 대한 깊이 있는 조사검토와 비교분석을 통하여 각 선행연구의 장단점 및 이 연구와의 연관성 등을 조사하였다. 이들 조사와 비교분석을 통하여 현행항로에 대한 검토를 거친 후, 다른 학문 분야에서 이용되고 있는 예측기법 및 부산항 도선사 의견수렴을 거쳐 항로배치를 도출하였다. 도출된 항로배치를 각 국의 항로설계지침 등을 통한 적정성 검토 및 시뮬레이션 검증을 통하여 그 타당성을 입증하였다. 또한, 12,000TEU급 컨테이너 선박의 횡압류 영향에 대한 시뮬레이션을 실시하였다.

제4장은 “가덕도 부근해역 항로배치”로 가덕도 부근해역에 대한 해상교통 조사를 실시하여 교통량 및 교통흐름을 분석하였다. 또한, 부산신항만과 교통흐름이 유사한 부산항의 연구사례 및 외국의 유사항로 사례를 조사 분석하였다.

제5장은 “부산신항만 진입항로 및 가덕도 부근해역의 항로배치”로 앞장에서 검토된 적절한 항로배치를 제시하였다.

제6장은 이 연구에서 도출된 결론으로 구성하였다.

이 연구의 절차를 도식화하면 <그림 1-2>와 같다.



<그림 1-2> Flow Chart

제2장 환경요소 조사·분석

2.1 기상 및 해상 현황

2.1.1 바람

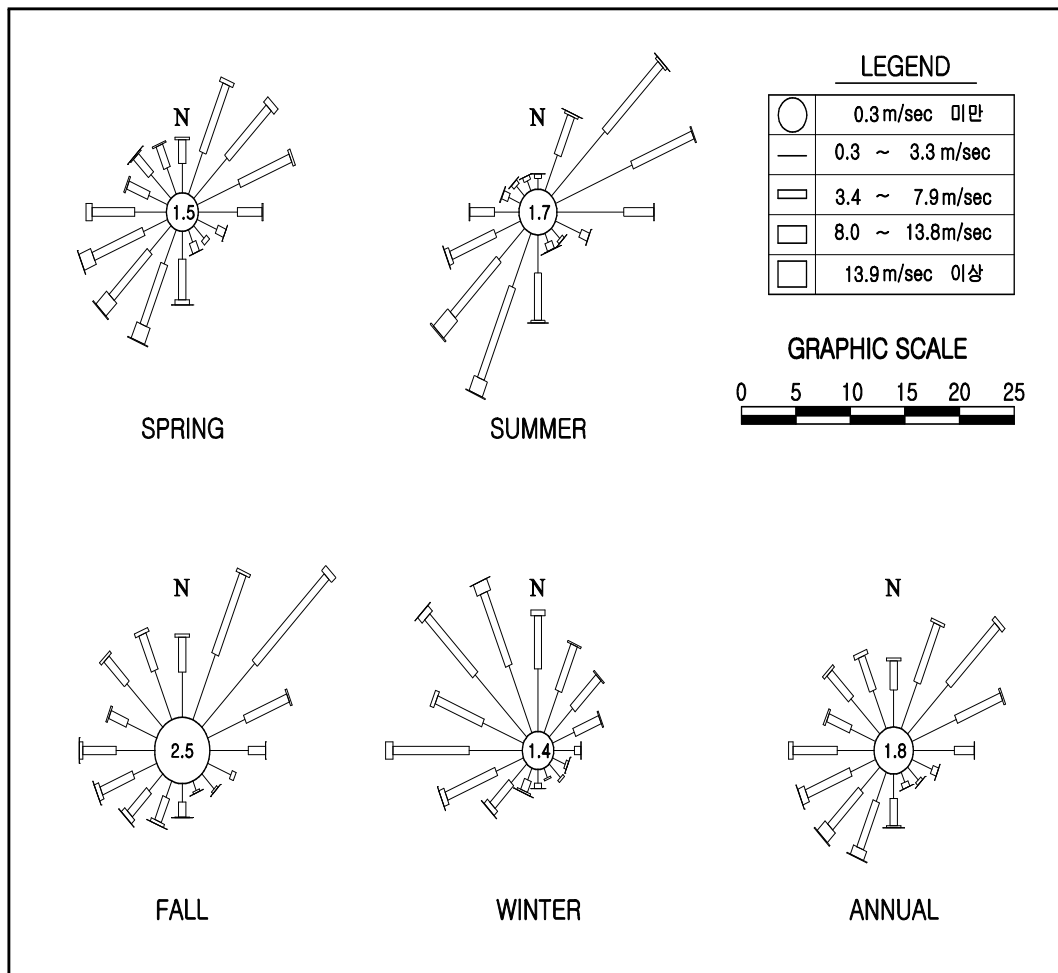
부산지방기상청의 20년간(1982~2001년) 기상관측자료를 분석하여 <표 2-1>에 부산지방의 월별 풍속 및 풍향을 나타내었다. 이 표에 의하면 연평균 풍속은 3.8m/sec로 나타났으며, 최대풍속은 25.7m/sec, 그 때의 풍향은 SSW(1987년 7월)이었다. 순간최대풍속은 1987년 8월에 다이나(DINAH) 태풍 내습시 43.0m/sec를 기록하였으며, 풍향은 NE로 관측되었다.^[5]

<표 2-1> 월별 풍속과 풍향(단위 : m/sec)

월 구분	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	전년
평균풍속	3.8	4.0	4.2	4.2	3.8	3.5	4.1	3.9	3.7	3.4	3.5	3.7	3.8
최대풍속	17.0 NW	19.0 SSW	17.3 W	25.0 SW	23.3 SW	18.9 SW	25.7 SSW	21.7 SSE	20.0 SW	21.7 SSW	16.7 WSW	18.7 NW	25.7 SSW
순간최대 풍속	28.5 NW	27.4 NNW	28.1 WSW	29.9 SW	27.5 SSW	28.2 SW	42.3 SE	43.0 NE	38.0 N	30.3 SSW	31.6 W	29.0 NW	43.0 NE

자료) 기상청, 기상연보

바람은 하절기에는 남서풍, 동절기에는 북서풍이 주로 불었는데, 풍향별 빈도율을 분석한 결과 풍향별 출현율은 NE 방향이 11.4%로 가장 높고, SSE 방향이 1.3%로 가장 적게 나타났다. <그림 2-1>에서 보는 바와 같이 계절별 풍향은 춘계에는 NNE, 하계에는 SSW, 추계에는 NNE, NE, 동계에는 NW 방향이 우세한 것으로 나타났다.



자료) 기상청, 기상연보

<그림 2-1> 바람 장미도

2.1.2 조류

국립해양조사원에서 발행한 조류도에 따르면 가덕도 주변 해역의 창·낙조시의 최강유속은 2.1kts이다. 창조시는 동에서 서측방향으로 흐르고, 가덕도 서측에서는 마산·진해만으로 향하는 북서방향류가 주류를 이루며, 낙조시 흐름은 창조시와 대체로 반대방향의 흐름패턴을 보인다. 부산신항만이 건설되기 전인 현재의 조류상황을 살펴보면, 가덕도 서측 연안(부산신항만의 예정 출입 항로)에서의 최강 창조류는 대략 NNW 1.1kts이고, 최강 낙조류는 SSW 2.1kts임을 알 수 있다. 부산신항만 건설후 내향이 될 예정인 가덕도와 육지간의 수역에서는 최강 창조류가 NE 0.2kts, 최강 낙조류는 W 0.3kts 임을 알 수 있다.^[3]

부산신항만의 개발로 인하여 가덕도 서측에서의 유속감소가 예측되나, 가덕도 인근 해역의 전체적인 흐름패턴 및 해수유통량의 변화는 거의 없는 것으로 나타났다. 특히, 진해·마산만 입구 단면수로의 해수유통량 변화는 무시할 정도로 작기 때문에 부산신항만 개발에 따른 진해·마산만의 해수유통 특성에는 변화가 없을 것으로 판단하고 있다. 그러나 향후 부산신항만 공사가 완료되어 가덕도 서북측의 연도에서부터 송도, 수도 및 진해시를 이어 매립하고, 부산신항만 부두가 건설되어 가덕도 북측의 수로가 완전히 막히게 되면 부산신항만 부근의 유향 및 유속은 크게 변할 것으로 예측하고 있다.^[18]



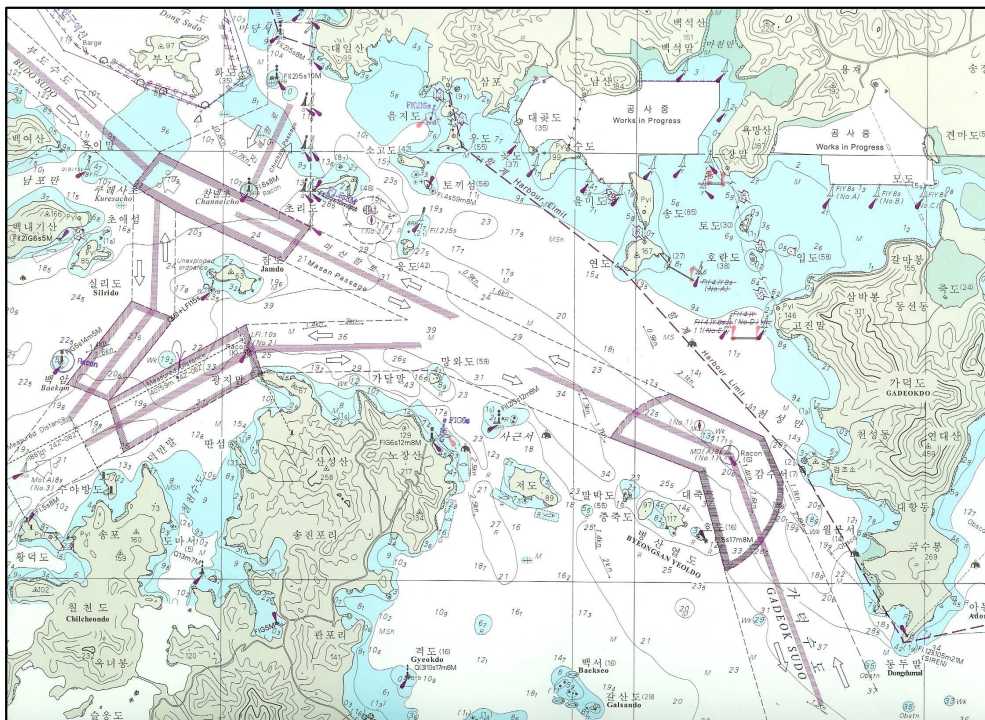
<그림 2-2> 가덕도 근해 최강창조류



<그림 2-3> 가덕도 근해 최강낙조류

2.2 기존항로 분석

기존항로(가덕수도)는 가덕수도 입구에서부터 시작되는 통항분리항로가 망와도와 응도 사이를 분기점으로 하여 마산항로와 충무항로로 나누어진다. 또한 마산항로는 채널초를 기점으로 진해항로와 부도수로 이어지고, 충무항로는 진해만내에서 안정항로와 고현성만으로 이어진다. 진해항로는 대부분이 중대형의 갑화선 및 벌크 선박이 이용하고, 마산항로는 갑화선과 자동차운반선이, 충무항로는 LNG 선박이 주로 이용하고 있다.



자료) 국립해양조사원, W224A 해도

<그림 2-4> 가덕수도 항로

가덕수도의 길이는 가덕도 입구에서 시작되는 통항분리항로가 No. 1 중앙 부표를 거쳐 6.5마일 정도이고, 마산항로의 길이는 가덕수도 입구로부터 부도로 끝까지 약 13마일 정도이며, 충무항로의 경우에는 가덕수도 입구를 기점으로 충무항로 끝까지 약 19마일 정도이다.

현행 가덕수도, 마산항로, 충무항로의 폭은, 우선 가덕수도 입구에서 약 2,400m이며 No.1 중앙 부표를 지나면서 1,300m로 좁아진다. 마산항로와 충무항로의 폭은 각각 1,000m와 1,100m정도이다. <표 2-2>는 가덕수도 인근 항로의 길이와 폭을 비교하여 나타냈다.

<표 2-2> 가덕수도 항로의 길이와 폭

구 분	가덕수도	마산항로	충무항로
항로 길이	6.5마일	13마일	19마일
최소 항로 폭	1,300m	1,000m	1,100m

현재 사용중인 항로의 경우 항로폭과 길이가 충분해 원활한 선박 교통이 이루어지고 있다. 그러나 가덕수도 인근 수역과 진해만은 태풍이나 기타 기상 악화시에 주로 피항지로 활용되고 있어, 태풍의 내습시에 남해안과 부산 일대의 피항선박들로 인해 일시적으로 교통량이 폭주하는 곳이기도 하다.

현재 이용되고 있는 가덕수도의 경우 중대형 선박의 통항에 있어 자연 환경적인 측면이나 교통 환경적인 측면에서 선박의 안전 운항이 보장된 안전수로라 할 수 있다. 그러나 현재 진행중인 No.1 중앙 부표 북쪽에 부산신항만이 건설되면 현행보다 많은 선박들이 가덕수도를 이용하게 될 것이고, 장래 부산항을 대체할 수 있는 대량 수송의 본거지로서의 역할을 하기 위해서는

우선 부산신항만에 대형 선박들이 출입 할 수 있는 국제적인 경쟁력을 갖춘 항만 시설과 함께 안전하면서 경제적인 출입 항로의 지정이 필수불가결하게 요구된다.

2.3 부산신항만 개발 계획

부산신항만은 21세기를 대비한 동북아 국제 물류중심 항만의 개발 및 부산항의 만성적인 화물적체 해소로 국가 경쟁력을 제고하기 위한 계획이며 그 내용은 다음과 같다.

부산항의 컨테이너 물동량 수요는 1997년부터 2011년까지 컨테이너화물은 연평균 7.1%, 환적화물은 13.9%의 대폭적인 증가가 예상된다.

<표 2-3> 컨테이너 물동량 수요 예측(단위 : 만TEU)

구 분		'97	2001	2006	2008	2011
전국물동량 (환적)		606 (117)	980 (306)	1,927 (801)	2,290 (977)	2,967 (1,318)
부 산	물동량 (환적)	540 (117)	807 (294)	1,109 (520)	1,217 (594)	1,404 (725)
	북 항	419	598	598	598	598
	부산신항만	-	-	511	619	806

자료) 해양수산부 홈페이지(<http://www.momaf.go.kr>)

컨테이너 처리계획으로는 2011년 전체 2,967만TEU중 부산항 1,404만 TEU(47%), 광양항 932만TEU(31%), 인천, 울산항 등 631만TEU(22%)를 처

리 할 계획이다. 2001년 컨테이너 처리는 전국 980만TEU중 부산항이 807만 TEU로 82%를 차지했다.

부산신항만 개발의 사업기간은 1995~2011년(16년)이고, 사업비는 9조 1,542억원(정부 4조 1,739억원, 민자 4조 9,803억원)이다. 사업내용을 살펴보면 정부투자자는 방파제 1,490m, 투기장호안 20.8km, 항로준설 62백만m³, 도로 및 철도 1식, 다목적부두 0.4km(1선석)이고, 민간투자자는 컨테이너부두 9.55km(29선석)이다.

<표 2-4> 부산신항만 단계별 사업계획

구 분		전 체 (’95~2011)	2008	2011
계	사업비(억원)	91,542	55,519	36,023
	사업량(선석) 효과(만TEU)	30 804	14 352	16 452
재 정	사업비(억원)	41,739	28,012	13,727
	사 업 량	방파제 1.49km 투기장호안 20.8km 준설 62백만 m ³ 안벽 0.4km(1선석) 어업보상 등 1식	1.49km 20.8km 40백만 m ³ 0.4km(1선석) 1식	- - 22백만 m ³ - 1식
민 자	사업비(억원)	49,803	27,507	22,296
	사 업 량 (선석)	안벽 9.55km (29)	안벽 4.3km (13)	5.25km (16)

주) 민자사업중 9선석은 “컨테이너공단” 사업으로 추진 예정
자료) 해양수산부 홈페이지(<http://www.momaf.go.kr>)

가덕도

투기장 A
(면적: 116만평
투기량: 2,785만㎡
호안: 11.6km)

투기장 B
(면적: 74만평
투기량: 1,751만㎡
호안: 5.0km)

서컨테이너부두 (45만평)
5만평을 4선씩(3,300M)
5만평을 4선씩(3,300M)

남컨테이너부두 (70만평)
5만평을 12선씩(3,300M)
항만관리단지 (27만평)

가덕도

- 15 -

제3장 부산신항만 진입항로 항로배치

3.1 항로배치 설계기준

국제해사기구(IMO)의 항로배치에 관한 일반규정(General Provisions on Ships' Routeing)¹⁾을 보면 항로배치 방식을 설계함에 있어서 가능한 한 다음 기준에 따라야 한다고 명시돼 있다.

(1) 항로는 해당 수역의 교통조사에 의한 기존의 교통 흐름 패턴에 될 수 있으면 근접하여 한다.

(2) 연안의 탐사 및 개발 구역에 장애를 받지 않고 통항가능한 항로의 배치 및 길이는 통항 안전을 위해 특수한 형태로 하는 정당한 이유가 있을 경우 통상적인 설정 방식의 규격과 다를 수도 있다.

(3) 항로에 따른 침로의 변경은 가능한 작게 하여야 하고, 또 통항이 집중되는 해역 및 항로 연결부 또는 횡단하는 교통량이 많은 장소 부근에서는 침로 변경이 있어서는 안 된다.

(4) 통항이 집중되는 해역 및 항로 연결부의 수는 최소로 하여야 하고, 가능한 서로 멀리 떨어지도록 분리 하여야 한다. 기존의 통항분리 제도 가까이에 다른 통항분리 제도를 설정하는 경우에는 통항분리 제도의 반대 교통흐름과는 가능한

1) “항로배치에 관한 일반규정”은 1977년 11월 14일 국제해사기구 총회결의 A.378(10)로 채택되었다. 1979년 11월 15일 A.428(12)로 개정된 후 1985년 11월 20일 A.572(14)로 새로이 채택되었다.

멀리 떨어져야 한다. 항로 연결부는 웨리 보트가 있는 곳과 같이 횡단 교통흐름의
집중이 예상되는 곳에 설정하여서는 안 된다.

(5) 항로는 해당 수역에서 항로표지, 국제협약 또는 국제해사기구의 결의 및
권고에서 정한 항해 장비를 사용할 수 있도록 설계되어야 한다.

(6) 항로 경계선 안쪽과 진입 구역에 대한 수로 측량은 실제 수심과 해상 항해
위험에 관한 정보를 해도 제작당국이 언제든지 이용 가능하도록 해야 한다.

(2) 가덕신항만 항로표지 배치에 관한 연구^[4]

가덕신항만이 건설 완료된 후 항만내로 출입하는 선박을 안전하게 유도할 수 있는 경제적이고도 가장 효율적인 항로표지의 설치와 가덕 신항만 항로와 교차되는 가덕수도를 항행하는 선박과의 충돌사고를 예방할 수 있는 항로배치를 제안하였다. 또한 유도표지의 설치 제안, 부산신항만 진입 선박이 근해에서 이용할 수 있는 기존 표지의 현황, 추가 설치되어야 하는 표지, 그리고 위와 연결되는 항로유도표지의 설치와 부근 항해시 자선의 위치를 정확히 알 수 있도록 하는 전파표지의 선정 및 보완에 관한 연구 및 조사 분석을 목적으로 하였다.

이 연구는 (1)에서 제시된 항로의 미진한 부분을 보완하고 항로표지의 배치를 구체적으로 제시한 최초의 연구로 평가되나, 항로의 이용 대상 선박을 (1)과 같이 6,000~7,000TEU급 컨테이너 선박(길이 320m, 폭 43.0m)으로 한정하였다. 따라서 최대 12,000TEU급 컨테이너선의 출입이 예상되는 부산신항만에 대한 항로배치 및 그에 따른 항로표지 설치에 관한 재검토를 필요로 한다.

(3) 부산신항만 준설토투기장 설계용역 중 시뮬레이션 검토 연구^[19]

(1)에서 제시한 항로 및 항로표지 배치에 따라 6,000TEU급 컨테이너 선박을 대상으로 출입 및 접이안에 대한 안전성을 평가한 것으로, 항로의 폭, 출입 및 접이안에 특별한 문제가 없는 것으로 연구 결과가 도출되었다. 그러나 6,000TEU급 컨테이너 선박을 사용한 이 안전성 평가는 12,000TEU급 컨테이너 선박에 그대로 적용하기에는 무리가 따른다.

(4) 부산신항 연결잔교 및 다목적부두 설계용역중 시뮬레이션 검토 연구^[7]

이 연구는 (1)에서 제시한 항로 및 항로표지 배치에 따라 부산신항만 입구에서 남컨테이너 부두 끝의 다목적 부두 및 연결잔교까지의 통항 및 접이안에 대한 안전성을 검증한 것이다. 이 연구에서 도출된 40,000G/T 자동차 운반선(길이 211m, 폭 30.0m)과 20,000DWT(길이 212m, 폭 27.0m) 컨테이너 선박에 대한 선박조종 시뮬레이션 결과를 12,000TEU급(길이 398m, 폭 55.0m)의 선박에 그대로 적용하기에는 무리가 따른다.

(5) 부산신항 남컨테이너부두 설계용역중 시뮬레이션 검토 연구^[12]

이 연구 역시 (1)에서 제시한 항로 및 항로표지 배치에 따라 4,000TEU급, 8,000TEU급, 12,000TEU급의 컨테이너 선박이 부산신항만 입구에서 서컨테이너 부두 및 남컨테이너 부두에 접이안하는 과정에서의 안전성을 검증하였다. 이 연구는 6,000~7,000TEU급의 컨테이너선을 기준으로 설계된 항로에 처음으로 8,000TEU급과 12,000TEU급의 컨테이너 선박을 투입하여 운항 안전성을 검토하였다는데 의의가 있다.

연구 결과 8,000TEU급과 12,000TEU급 선박은 토도 남쪽의 좁은 항로 통과시 대각도 변침에 따른 압류 현상으로 조종에 대한 위험감과 제어의 어려움 때문에 토도의 남측 항로폭을 150m~200m 넓힐 필요가 있음이 도출되었다. 또한 8,000TEU급 및 12,000TEU급 선박의 접안장소로는 서컨테이너 부두 및 북컨테이너 부두를 지정할 것을 권고하고 있다.

이상의 5가지 연구 수행 과정 및 결과를 종합해 볼 때 다음의 사실을 확인할 수 있다.

- a) 상기의 모든 연구는 (1)“가덕신항만 개발 기본계획 용역 요약보고서”에 따라 6,000~7,000TEU급의 컨테이너 선박을 기준으로 설계된 항로를 수정하거나 그대로 이용하였다.
- b) (3)과 (4)의 연구에서 사용된 6,000TEU급 컨테이너 선박, 20,000DWT 컨테이너 선박, 40,000G/T의 자동차 운반선에 대한 결과가 12,000TEU급의 컨테이너 선박에 적합한 항로배치가 된다고 보기 어렵다.
- c) (5)의 결과 6,000~7,000TEU급의 컨테이너를 기준으로 설계된 항로는 8,000TEU급 이상의 컨테이너 선박의 통항안전성을 위협하므로 개선되어야 한다.

따라서 추후 예상되는 12,000TEU급 초대형 컨테이너 선박이 안전하게 출입할 수 있고, 인근 항만을 통항하는 선박의 원활한 교통흐름을 유도할 수 있는 항로배치에 대한 검토가 요구된다.

3.3 항로배치 도출

항로를 배치할 경우 해당 해역의 바람, 조류, 파도 등과 같은 환경적인 요소를 감안하고, 동시에 선체 운동역학 및 항로표지 성능 등을 고려하여 항로를 결정하여야 한다. 또한 현재 사용하고 있는 항로에 새로운 항만이 들어설 경우에는 가급적 현재 이용되고 있는 항로를 최대한 활용하여 이용자의 혼란을 피하는 것이 항로배치에 있어 선행되어야 할 중요한 일이라 할 수 있다.

이 연구에서는 경영과학 및 산업공학 분야에서 널리 이용되고 있는 예측기법을 이용하여 항로배치를 도출하였다.

예측기법은 크게 정성적 기법과 정량적 기법으로 대별되는데, 정량적 기법은 다시 시계열 예측과 인과형 예측법으로 구분된다. 어느 경우이든 이들 정량적 예측기법은 과거의 자료가 충분하고 과거의 인과관계나 경향이 미래에도 지속될 것이라는 가정을 전제로 하는 기법인데, 이 연구의 경우에는 부산신항만 건설로 인하여 늘어나는 교통량을 기본으로 하고 있기 때문에 과거의 자료가 충분하지 않아 적합하지 않다.

한편 정성적 기법은 예측자의 판단이나 의견에 의하는 방법을 총칭하여 부르는 것으로 델파이법(Delphi Technique)²⁾, 시장조사, 전문가 의견법(Experts' Opinions), 중역진 의견법 등이 있다.

이 연구에서는 델파이법과 전문가 의견법을 결합하여 부산신항만의 항로배치 방안을 도출하였다.

2) 델파이법(Delphi Technique) : 여러 전문가의 판단을 조직적으로 수렴시켜 일치된 의견이나 예측을 도출하는 기법으로서, 데이터가 전혀 없거나 먼 미래의 장기적 변화를 예측해야 할 때 많이 사용되는 기법이다.

항로배치 도출을 위해 항해 경험이 풍부한 선장 및 항해사 출신의 전문가 7인을 대상으로 각기 다른 2개의 항로배치를 가덕도 부근해도(해도 번호 W255)상에 도시하여 제시하도록 하였다.

7인의 전문가에 의해 제안된 14개(7인×2개의 항로배치)안의 공통점으로는 가덕수도 좌현 항로에 대해서는 현행 항로를 그대로 유지하는 안이 많았으며, 방파제 인근 해역과 충무, 마산 항로와 부산신항만 출입 선박이 만나는 해역에 대해서는 각각 의견이 분산되었다. 이들 14개의 안은 3차례의 수렴과정을 거쳐 다음의 4개의 안으로 요약되었다.

(1) 제1안

이 안은 <그림 3-2>와 같이 기존연구에 많이 사용되어온 안으로 이 안의 특징으로는 현재의 가덕수도에 배치된 항로를 크게 변경하지 않고 이용할 수 있다는 점을 들 수 있다. 즉, 부산신항만 입구의 항로폭을 확장하여 그 중간에 통항 분리대를 설치하고, 대죽도 부근의 굴곡항로는 반경 4Km의 반경을 가진 곡선으로 처리하여 항로폭을 증가시켰다. 또한 부산신항만 입구와 항로의 교차 지점 부근의 통항 분리선을 제거하여 부산신항만에서 출항하는 선박이 항로에 용이하게 합류하도록 하였다.

(2) 제2안

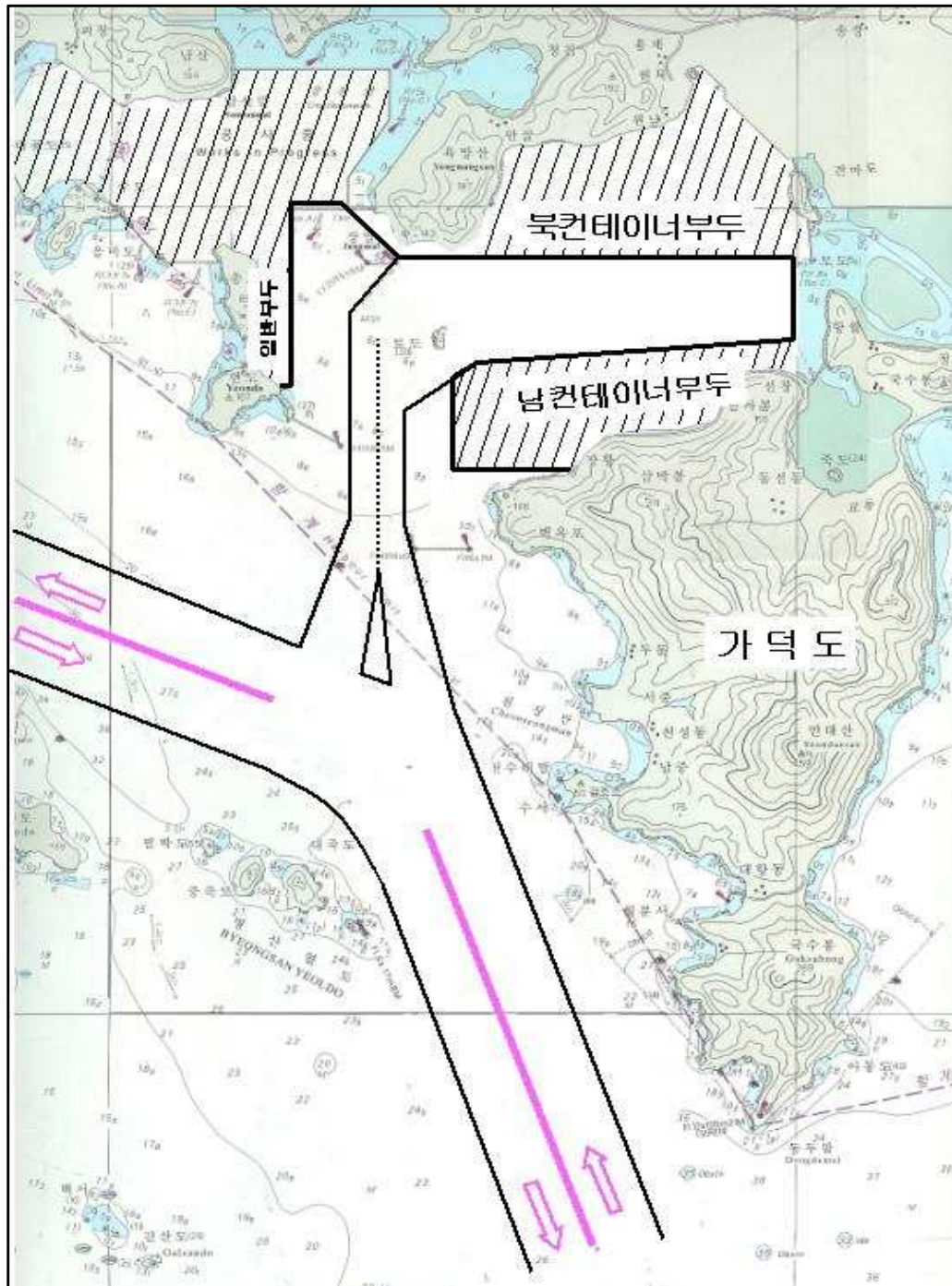
제2안은 제1안 중에서 부산신항만 입구에 있는 통항 분리대를 제거한 것으로 <그림 3-3>과 같다. 선박이 대형화됨에 따라 방파제 사이의 좁은 수역에 설치된 통항분리대는 오히려 선박조종에 부담감을 주게 될 것이라는 전문가의 의견을 수용하여 제1안의 대안으로 제시되었다.

(3) 제3안

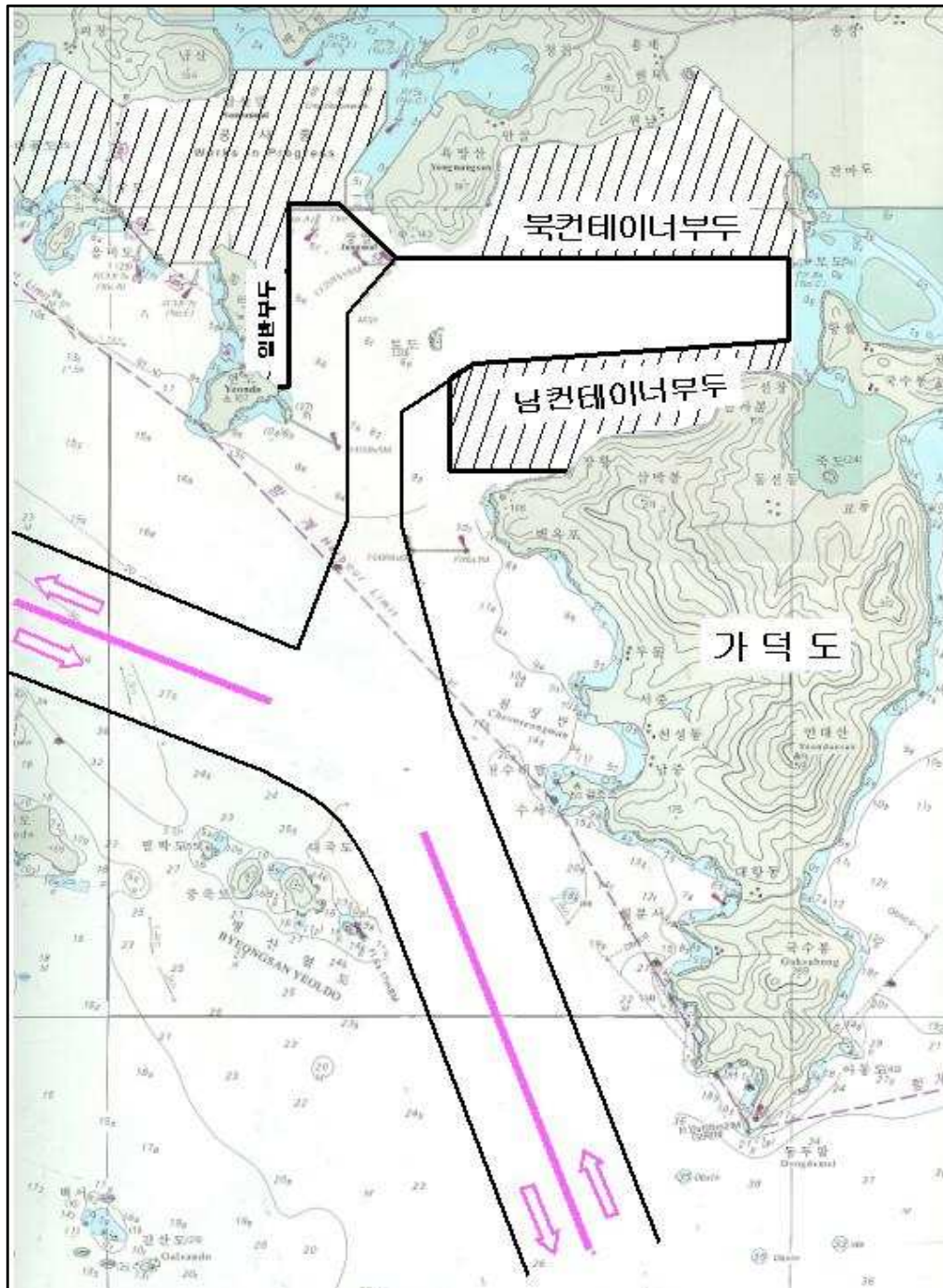
제3안은 <그림 3-4>와 같이 부산신항만 입구의 좌측 경계선을 부산신항만 서방제와 직각을 이루도록 하고 교차지점은 선회항로로 설정하였다. 부산신항만 출항 선박은 토도를 통과한 후 변침 없이 거의 일직선으로 항해하여 가덕수도에 곧 바로 진입할 수 있는 장점을 가지고 있다. 입항시에도 토도 앞에서의 대각도 변침을 가능한 줄임으로서 안전한 입항자세를 확보하도록 설계된 안이다. 제1안 및 제2안에 비해 마산, 충무, 진해 항로의 항로폭을 최대 2,490m까지 확장했다.

(4) 제4안

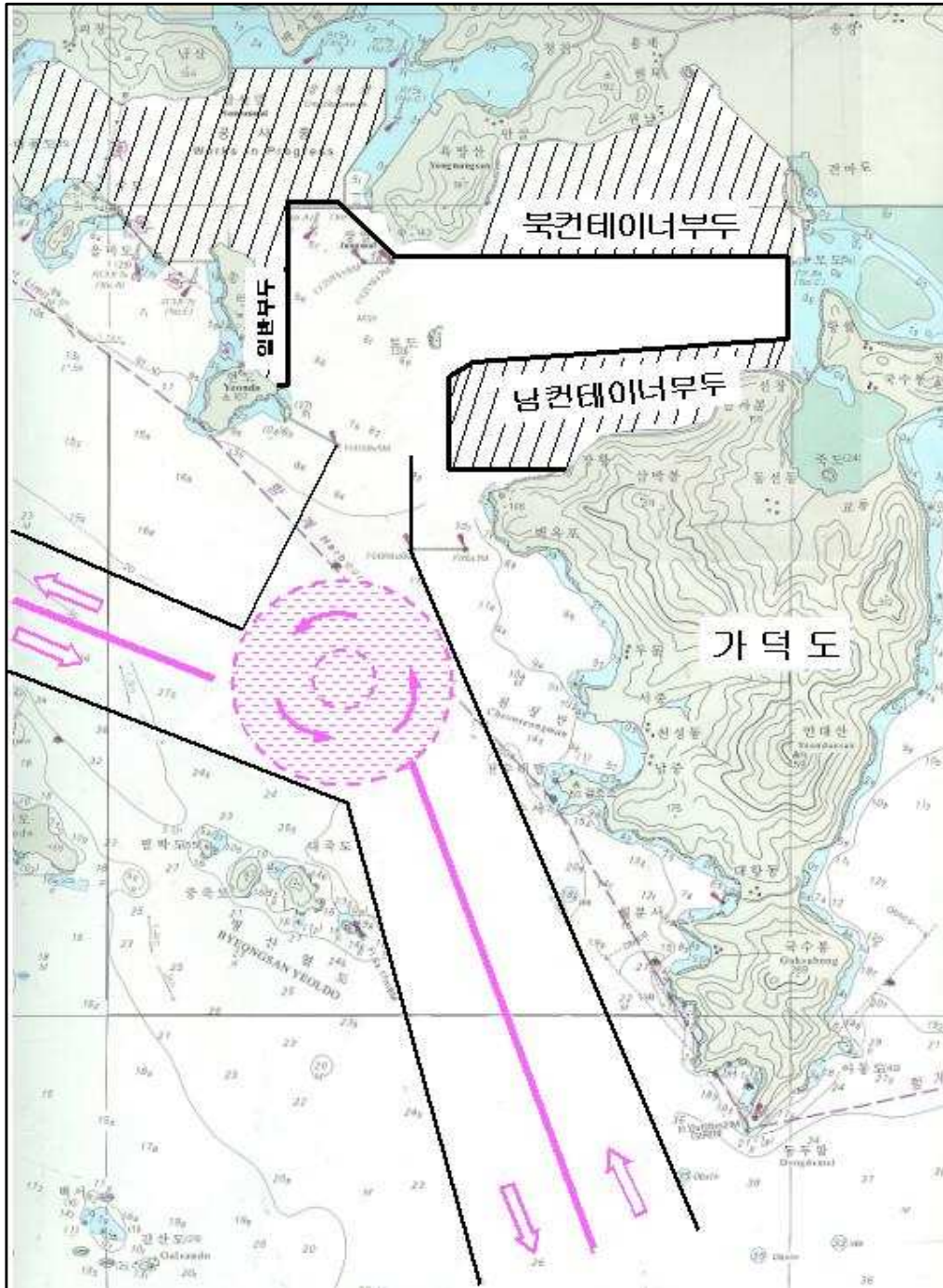
<그림 3-5>에 나타낸 것처럼 가덕수도 끝으로부터 방과제 입구까지의 거리가 2마일에 불과하고 방과제 진입 후 북 또는 남 컨테이너 부두에 접안하기 위해서는 토도와 남컨테이너 부두 사이를 통과해야 하기 때문에 대각도 변침이 불가피하다. 이것은 조선자에게 커다란 부담감으로 작용할 것으로 판단되며 12,000TEU급 거대선박의 안전한 선박 조선에 많은 지장을 초래할 것이다. 이러한 것을 고려한 제4안은 제3안의 장점을 극대화 시킨 안이다. 즉, 남컨테이너 부두 끝과 토도 사이를 통과하여 입항하는 선박에게 좁은 항내에서 최소한의 변침만으로 수로로 진입이 가능하도록 부산신항만 입구의 좌측 경계선을 서 방과제 끝 및 토도 남단과 일직선이 되도록 배치하였다. 부산신항만 방과제를 지나 마산항로 및 충무항로로 진행하는 선박의 안전운항을 도모하기 위해 부산신항만 측면의 항로폭을 300m 넓게 설정함으로 인해 부산신항만 출입 선박과 마산, 충무항로를 통항하는 선박이 마주치는 주변 해역을 다른 안보다 넓게 확대했다. 좌측경계선의 항로배치는 제3안과 동일하다.



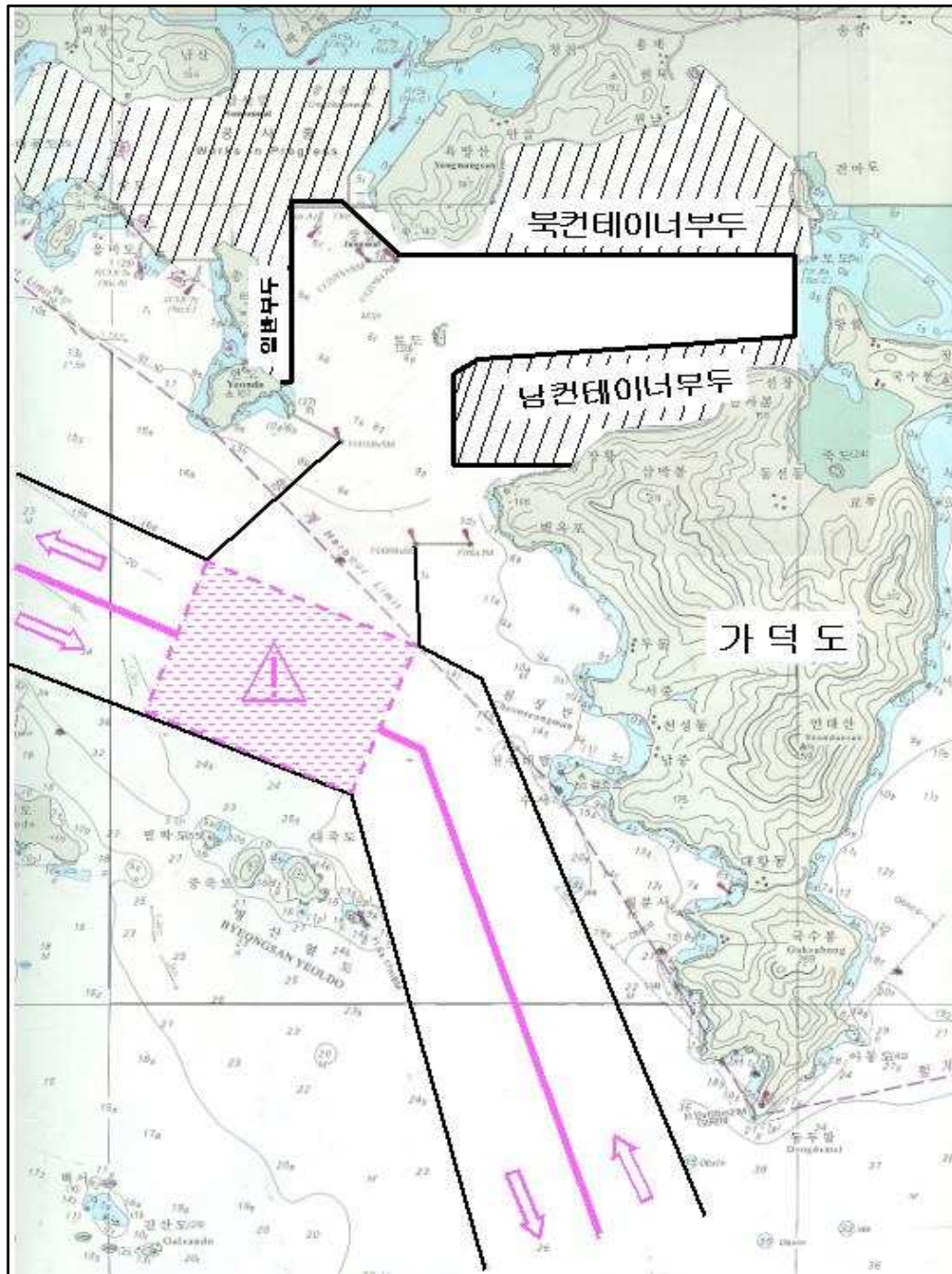
<그림 3-2> 항로배치 제1안



<그림 3-3> 항로배치 제2안



<그림 3-4> 항로배치 제3안



<그림 3-5> 항로배치 제4안

앞에서 제시한 4개의 항로배치는 부산신항만 방파제를 출입할 때 어느 부분에 중점을 둘 것인지에 따라 조금씩 다르다. 제1, 2안에 비해 제3, 4안의 경우는 부산신항만 방파제 진입 수로의 폭이 넓다. 또한 제4안은 방파제 항로 폭 이외에도 마산, 충무, 진해 항로의 항로폭을 제1, 2안에 비해 넓게 설정하였으며, 더불어 부산신항만과 충무, 마산항로와의 접속수역이 확대 설정되었다. 뿐만 아니라 대죽도 부근의 좌현측 만곡부 항로를 제1, 2안이 반경 4Km의 반경을 가진 곡선으로 표시하였으나, 제3, 4안은 현행대로 직선항로를 유지하였다. 항로의 최대 직선거리는 제1, 2, 3안이 제4안에 비해 길며, 방파제 통과 항로폭은 4안 > 제3 > 제1, 2안 순이다. 기본 배치안의 주요 특징, 최소·최대 항로 폭 그리고 최대 직선 길이를 상호 비교하면 <표 3-1>과 같다.

<표 3-1> 기본 항로배치의 상호 비교

항 목	특 징	최소 항로 폭	최대 항로 폭	최대 직선 거리
제1안	<ul style="list-style-type: none"> 외해에서 부산신항만으로 진입하는 선박이 일직선으로 입항 가능 	600m	1,500m	8,500m
제2안	<ul style="list-style-type: none"> 부산신항만 입구의 통항분리대 제거로 조선자의 부담 경감 	600m	1,500m	8,500m
제3안	<ul style="list-style-type: none"> 안전한 출입 자세 확보 	780m	2,490m	8,500m
제4안	<ul style="list-style-type: none"> 안전한 입항자세 극대화 	1,420m	2,490m	6,200m

이러한 4개의 안은 다시 부산항 도선사협회의 의견을 수렴하여, 기존의 연구에 많이 사용되어온 제1안과 조선자 측면에서 보다 안전한 항로라고 판단되어지는 제4안을 부산신항만 진입항로의 보다 적합한 항로배치로 선정하였다.

3.4 항로배치의 비교

앞에서 도출된 제1안과 제4안에 대해 12,000TEU급 컨테이너 선박의 항해상 안전과 관계가 있는 항로배치와 폭, 수심 및 선회장 등에 대하여 국내·외 항만시설물 설계기준을 적용하여 적정성 검토를 실시하였다. 12,000TEU급 컨테이너 선박의 제원은 <표 3-2>와 같다.^[22]

<표 3-2> 12,000TEU급 컨테이너 선박 제원

전장(LOA)	전폭(B)	만재흘수(d)	재화중량톤수(DWT)
398m	55m	15m	140,000ton

3.4.1 항로의 배치

항로의 배치는 <표 3-3>과 같이 PIANC 규칙, 미국의 항로설계지침, 일본의 항로설계지침 등을 비교분석 하였다.

<표 3-3> 항로의 배치 부분에 관한 적정성

고려 사항	적정성	
	제1안	제4안
해당 해역의 바람, 조류, 파도 등을 감안한 선체 운동역학	적합	적합
육상의 항로표지 성능	적합	적합
항로는 가급적 직선항로가 되도록 설계	적합	적합
항로의 만곡부의 반경은 선체 길이의 5배 이상 가능하다면 10배 이상	부적합	적합
교량 등이 있거나 항로가 좁아지는 경우 선체 길이의 5배 이상의 직선 통항로를 전후에 설치	적합	적합

자료) 김환수(1995), 선박의 안전을 위한 최적항로배치 및 항로폭 결정에 관한 연구

제1안이 방파제를 출입 할 때의 직선향로에 중점을 둔 반면 제4안은 토도와 남컨테이너 부두 사이의 협수로를 통과하는 직선향로에 중점을 두도록 설계되었다. 12,000TEU급 선박의 길이를 고려한 만곡부의 반경은 선체 길이의 5배에서 10배인 약 2,000m~4,000m가 필요하다. 제1안은 방파제 통과후 토도 앞 만곡부의 반경이 약 1,850m로 약간 부족하고, 제4안의 경우는 직선향로로 이루어져 만곡부의 반경을 고려하지 않아도 된다. 항로가 좁아지는 부분인 토도와 남방파제 사이의 통과 지점을 기준으로 약 2,000m의 직선 통항로가 설치되어야 하나 제1안의 경우는 길이가 3,200m, 제4안은 직선향로로 이루어져 충분한 직선 항로를 가지고 있다.

3.4.2 항로폭

항로폭에 대하여 <표 3-4>과 같이 각국의 항로배치 기술기준의 비교 분석하였다.

<표 3-4> 항로폭에 관한 적정성

설정 기준	설정 방법	항로폭 (m)	적정성		비 고
			제1안	제4안	
항만시설물 설계기준서	$L \sim 1.5L$	398~597	적합	적합	대상선박 12,000TEU $L = 398\text{m}$ $B = 55\text{m}$ $WP=L\sin\alpha$ $=398\sin15.8$ $=108.4\text{m}$
일본 항만시설의 기술상 기준 및 동 해설	1.5L	597	적합	적합	
Port Development	$7B + 30$	415	적합	적합	
ICORELS'S REPORT	$10B + WP$	658	부적합	적합	
Port Engineering	$7.3B \sim 9.5B$	402~523	적합	적합	
Planing & Design of Port & Marine Terminals	$7B \sim 9B$	385~495	적합	적합	

주) ICORELS(International Commission for the Reception of Large Ship)
: Supplement to Bulletin n° 35 of the PIANC

자료) 해양수산부(1996), 가덕신항만 개발 기본계획 용역 보고서

제4안의 경우 동, 서 방파제 통과지점에서 최소 항로폭을 가지며 그 거리가 1,420m이므로 모든 항로배치 기술기준을 만족한다. 그러나 제1안의 경우는 방파제 횡단시 600m의 최소 항로폭을 가짐으로서 ICORELS'S REPORT의 기준에는 부합되지 않아 항로폭을 다소 넓힐 필요가 있음이 확인되었다.

<표 3-5> 최소 항로폭의 적정성

항로구분			항로폭 (선폭 B의 배수)			적정성	
			선박 조종성능				
			양호	보통	불량	제1안	제4안
양방 통행 항로	직선 구간		8B(440m)	10B(550m)	12B(660m)	부적합	부적합
	만곡부	15도 만곡	10B(550m)	12B(660m)	14B(770m)	적합	적합
		30도 만곡	12B(660m)	14B(770m)	16B(880m)	적합	적합
		45도 만곡	14B(770m)	16B(880m)	18B(990m)	적합	적합
일방 통행 항로	직선 구간		4B(220m)	5B(275m)	6B(330m)	적합	적합
	만곡부	15도 만곡	5B(275m)	6B(330m)	7B(385m)	적합	적합
		30도 만곡	6B(330m)	7B(385m)	8B(440m)	적합	적합
		45도 만곡	7B(385m)	8B(440m)	9B(495m)	적합	적합

자료) 김환수(1995), 선박의 안전을 위한 최적항로배치 및 항로 폭 결정에 관한 연구

또한 <표 3-5>와 같이 최소 항로폭에 대한 검토 결과 제1안은 방파제 횡단시 항로폭이 600m에 불과해 조종 성능이 불량한 12,000TEU급의 선박이 방파제를 통과할 때 항로폭이 좁은 것으로 나타났다. 그러나 제4안의 경우는 항로폭 자체는 만족하지만 입항하는 선박과 출항하는 선박이 횡단 상태가 되어 현실적으로 양방 통행이 어렵다.

3.4.3 항로수심

항로의 수심은 제1안 및 제4안이 거의 유사하나 부산신항만 방파제 입구와 대죽도를 돌아 충무, 마산, 진해 방향으로 향하는 항로의 항로폭에 차이가 있어 항로의 수심에 대한 검토는 크게 가덕도 입구에서 대죽도까지의 항로, 대죽도에서 망와도까지의 항로, 부산신항만 방파제 입구의 3구역으로 나누어 <표 3-6>과 같이 검토하였다.

<표 3-6> 항로 수심의 적정성

항로	필요 수심	적정성		비고
		제1안	제4안	
가덕도 입구~대죽도	Draft + 0.2D (18m)	부적합	부적합	NO.1 부표 부근 준설 요함
대죽도~망와도	Draft + 0.15D (17.25m)	부적합	부적합	No.1 부표 부근의 13.6m 침선 제거 요함
부산신항만 방파제 입구	Draft + 0.15D (17.25m)	부적합	부적합	준설을 필요로 하며 제1안에 비해 제4안의 준설 면적이 큼.

자료) PIANC 규칙

수심에 대한 검토 결과 가덕도 입구에서 대죽도에 이르는 항로는 대죽도 부근에서 약최저저조면 기준으로 17.1~17.6m의 수심이 발견됨으로서 부분적인 준설이 필요하다. 대죽도에서 마산, 충무 방면의 현행 항로는 대체로 필요 수심을 만족하나 현행 No.1 부표 앞의 13.1m의 침선 및 17m의 수심을 가진 지역의 준설이 필요하다. 현행 항로의 우측 경계선에서 부산신항만 방파제에 이르는 수역은 8.0~15.5m의 수심을 가지고 있으므로 전면적인 준설이 불가피하다. 제1안에 비하여 제4안이 넓은 준설 구역을 필요로 하는데, 대략 1,720,000m²로 추산된다.

3.4.4 선회구역

PIANC 규칙에 의한 선회구역은 선박이 적절한 마력을 갖는 적절한 예선의 지원을 받는 상태에서 조류가 0.10m/s 이하이고, 선회 선박이 경하흘수 상태일 경우라도 바람이 10 m/s 이하라면 선체길이의 두 배에 해당하는 지름을 가진 구역으로 충분하나, 조건이 충족되지 않을 때는 3배의 지름을 가진 원으로 정해진다. 이러한 점을 고려할 때, <표 3-7>과 같이 방파제 전면과 토도 앞에서의 선회장을 고려하여 볼 때 제1안의 경우에는 방파제 전면에서의 선회가 필요 없고, 제4안의 경우에는 토도 앞에서 선회가 특별히 필요 없게 된다. 제1안의 경우 토도 앞에서는 796~1,194m의 직경을 가진 선회구역이 필요하나 선회구역의 직경은 약 400m에 불과하여 부적합하며, 이에 비하여 제4안은 특별한 선회구역을 요하지 않는다. 또한 방파제 전면에서 제4안의 경우에는 비교적 넓은 2,600m 직경의 선회 구역이 충분히 확보되어 적합하다고 판단되며, 제1안의 경우 특별한 선회구역을 요구하지 않는다.

<표 3-7> 선회 구역의 적정성

항로	선회구역 (기준: 2L~3L)	적정성		비고
		제1안	제4안	
토도앞 선회구역	400m	부적합	적합	제4안은 특별한 선회구역 불필요
방파제 전면	2,600m	적합	적합	제1안은 특별한 선회구역 불필요

자료) PIANC 규칙

앞에서 살펴본 바와 같이 제1안 및 제4안에 대하여 국내외의 항만시설물 설계기준을 통하여 항로의 배치와 폭, 수심 및 선회장에 관한 적정성 검토를 한 결과 각각의 장, 단점은 다음과 같다.

제1안의 장점은 기존의 항로를 크게 변경하지 않고 이용이 가능할 뿐 아니라 가덕수도 진입구부터 큰 변침없이 용이하게 부산신항만 방파제에 이를 수 있다는 것이다. 또한 방파제 앞쪽의 준설구역을 최소화 할 수 있다는 이점도 있다. 반면, 단점으로는 토도앞 만곡부의 반경이 기준에 못 미치고 항로폭에 있어서 부분적으로 최대기준을 만족하지 못하며, 보통 이하의 조종 성능을 가진 12,000TEU급의 선박이 방파제를 통과 할 때는 일방통행만이 가능하였다. 뿐만 아니라 토도앞 선회구역이 기준을 만족하지 못하였다.

이에 반하여 제4안의 경우는 부산신항만 입항 선박이 동 방파제와 떨어져 변침하여 토도와 남컨테이너 부두 사이의 좁은 공간에 쉽게 접근할 수 있을 뿐 아니라, 항로배치, 항로폭, 선회구역에 대하여 국내외의 기준을 모두 만족하였다. 그러나 제1안에 비교하여 부산신항만 방파제 앞 준설 구역을 넓게 확장해야 하는 경제적인 단점이 있다.

3.5 선박조종 시뮬레이션 검토

전문가에 의해 도출된 제1안과 제4안에 대해 12,000TEU급 컨테이너 선박을 이용하여 5명의 선장출신 조종사를 대상으로 선박조종 시뮬레이션을 실시하였다. 실험선박인 12,000TEU급 컨테이너선은 현재 건조중이거나 나온 것이 없어 그 상세한 명세는 알 수 없으나, 노르웨이 선박건조회사인 Kongsberg Maritime에서 개발한 CNTNR19L 모델을 기초로 하였으며, 실험선박 제원은 <표 3-8>과 같다.^[22]

<표 3-8> 실험선박 제원

명 세	제 원	명 세	제 원
전장(LOA)	398m	풍압면적(측면 만재시)	11,400m ²
수선간장(LBP)	380m	수압면적(측면 만재시)	5,700m ²
선폭(B)	55m	프로펠라형	고정형
만재흘수(d)	15m	속력(전진전속)	26kts
재화중량톤수(DWT)	140,000ton	마력	78,822HP

3.5.1 선박조종 시뮬레이션 조건과 변수

분석평가의 방식은 기준점을 이용한 근접도 평가, 조종의 곤란도를 측정하는 제어도 평가 그리고 경험 많은 조종자들의 주관적인 평가가 있다. 이 연구에서는 항로배치의 최적 배치안을 알기 위한 것으로 근접도 평가는 부산신항만 부근에 특별한 위험요인이 없기 때문에 평가 의미가 없을 것으로 판단하여 나머지 두 가지 평가만 실시하였다.

특히, 제어도 평가는 시뮬레이션 프로그램의 평가 방식을 이용하여 타각사용량 및 선회율을 이용하여 곤란도를 측정하였다. 시뮬레이션과 관련한 독립변수, 종속변수 및 시나리오 등은 다음과 같다.

(1) 독립변수

시뮬레이션의 외력조건은 조류, 바람, 시계, 주야 등을 들 수 있지만 이 연구에서는 조류, 바람을 독립변수로 두었다. 바람의 경우는 실제 탁월풍향과는 달리 풍향별 빈도율이 가장 높은 035°-20kts를, 그리고 조류는 국립해양조사원에서 발간하는 조류도를 참고하여 최강 창조류 및 낙조류를 조사하여 그 중 세기가 센 낙조류 145°- 2.1kts로 시뮬레이션을 수행하였다.

(2) 종속변수

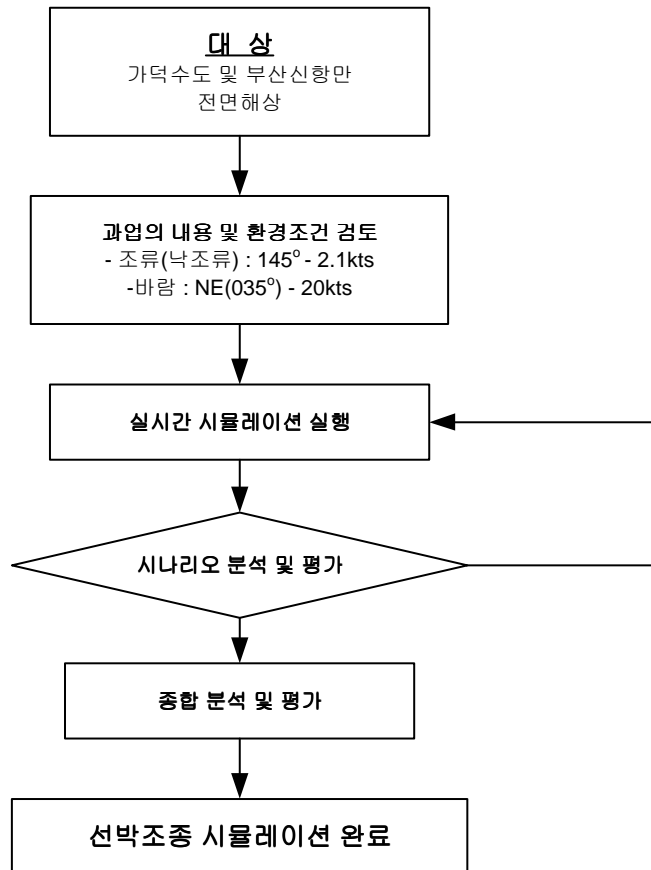
선박운항 안전성을 평가하기 위하여 사용한 종속변수는 선박의 근접도, 선박 제어도 등이 있지만 최적 항로지정의 적절한 배치안을 위한 이 연구에서는 근접도 평가는 그 의미가 낮을 것으로 판단되어 검토하지 않았다. 제어도는 일반적으로 선박 조종자가 선회율과 타각을 자주 사용하거나 크게 사용하면 제어하기가 곤란한 것으로 예상되므로 그 사용량을 검토하여 평가하였다.

(3) 시나리오 설계

출입항은 입항의 경우에만 실시하였고, 바람, 조류를 독립변수로 하여 발생할 수 있는 최대 수치를 <표 3-9>와 같이 지정하였으며, 연구 검토를 위한 선박조종 시뮬레이션 흐름도는 <그림 3-6>과 같다.

<표 3-9> 시나리오 설계

구분	시나리오번호	출입항	조 류	풍향 / 풍속
가덕수도	제 1 안	입 항	145° - 2.1kts	NE - 20kts
	제 4 안	입 항	145° - 2.1kts	NE - 20kts
항내	제 1 안	입 항	270° - 0.3kts	NE - 20kts
	제 4 안	입 항	270° - 0.3kts	NE - 20kts



<그림 3-6> 선박조종 시뮬레이션 흐름도

3.5.2 선박조종 시뮬레이션 결과

시뮬레이션의 평가는 시뮬레이션 실시 이후 조종자가 느끼는 위험감과 조종자가 느끼는 선박 제어의 어려움 항목에 대하여 각 7단계로(-3, -2, -1, 0, +1, +2, +3 : +값이 커지면 안전하고, -값이 커지면 위험) 응답하도록 하였다.

응답결과 주관적 평가요소의 기술 통계량과 제어도 평가요소의 기술통계량은 <표 3-10> 및 <표 3-11>과 같다.

<표 3-10> 주관적 평가 요소의 기술 통계량

구 분		제1안	제4안
조종위험도	평 균	- 0.5	0.3
	편 차	1.5	1.09
조종곤란도	평 균	-0.75	0.0
	편 차	1.30	1.32

<표 3-11> 제어도 평가 요소의 기술 통계량

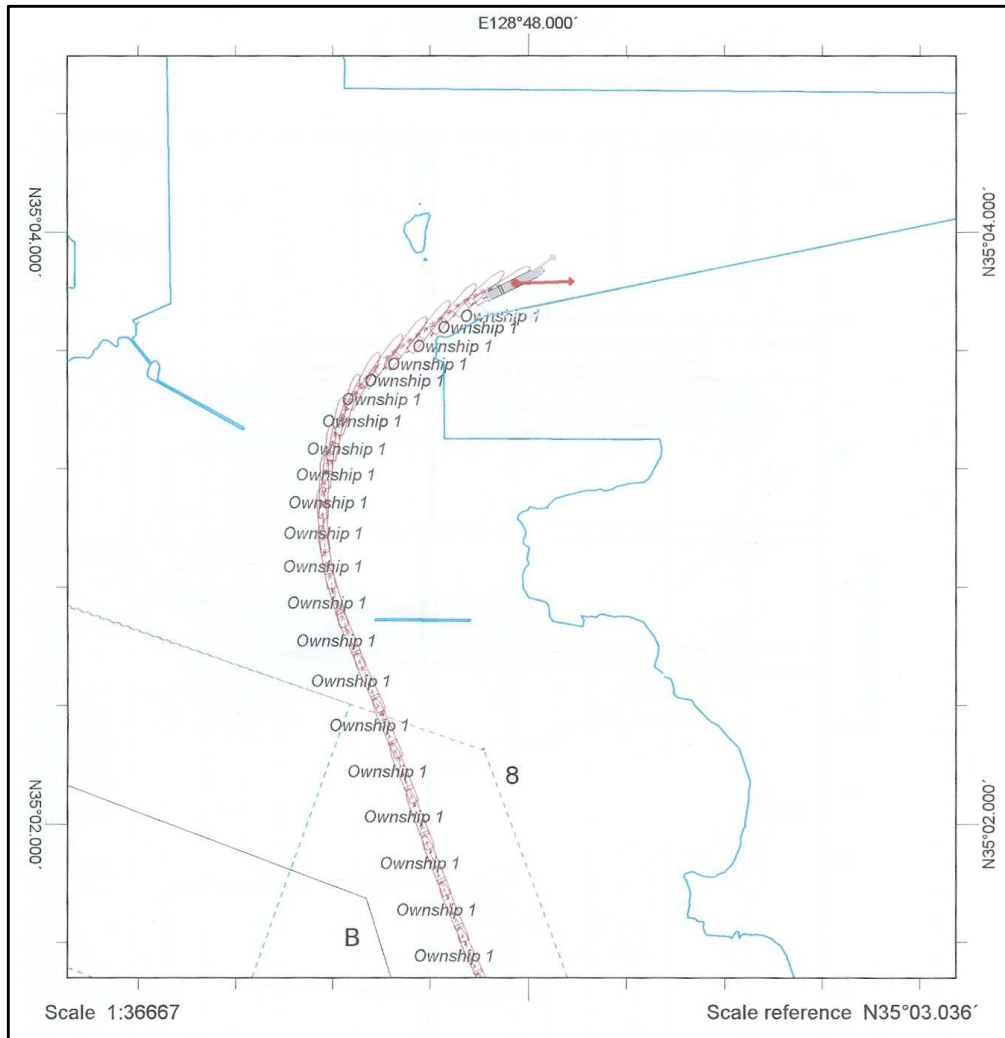
구 분		제1안	제4안
타각사용량	평 균	19.6	13.47
	편 차	12.5	11.00
선회율	평 균	3.0	6.03
	편 차	2.8	7.03

주관적 평가 요소의 기술 통계량을 t분포로 분석한 결과, 95% 신뢰구간에 서 조종위험도의 제1안은 $-2.362 < \mu < 1.362$, 제4안은 $-1.053 < \mu < 1.653$ 으로 제1안에 비해 제4안의 분포가 높은 수치를 나타냈다. 조종곤란도의 경

우 제1안은 $-2.364 < \mu < 0.864$, 제4안은 $-1.639 < \mu < 1.639$ 로써 마찬가지로 제1안에 비해 제4안의 분포가 높은 수치를 나타냈다.

조종자의 주관적인 의견을 살펴보면, 제4안의 경우 조종의 위험도 및 조종 곤란도가 (+)값이었고, 제1안은 (-)값이었다. 즉, 제1안에 비해 제4안이 조종자가 느끼는 위험감과 조종자가 느끼는 선박제어의 어려움을 덜 느끼는 것으로 확인되었다.

제어도 평가 결과를 살펴보면, 타각사용량에서 제4안의 평균은 13.47이었고 제1안의 평균은 19.6으로 제1안에 비해 제4안이 타각을 적게 사용한 것으로 확인되었다.

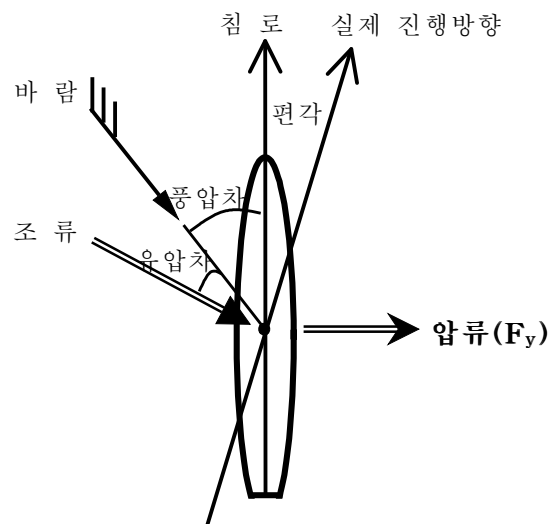


<그림 3-8> 제4안 시뮬레이션 결과

3.6 12,000TEU급 컨테이너 선박의 횡압류 영향

3.6.1 개 요

대형 선박의 통항이 예상되는 부산신항만의 경우 압류에 대한 영향을 명확히 파악하여 대형 선박의 출입 안전성을 확보할 필요가 있다. 특히 항로배치시에는 압류를 고려하여 실제 가항 항로를 넓게 설정하여 출입 선박의 안전한 통항을 보장하여야 한다. 여기서는 부산신항만에 출입 할 것으로 예상되는 최대선박인 12,000TEU급 컨테이너 선박을 대상으로 압류 현상을 평가 조사하였다.



<그림 3-9> 바람과 조류에 의한 압류

선박은 바람이나 조류에 의한 압류(壓流)로 인하여 선박이 진행하고자 하는 실제 선수방위와 항적이 일치하지 아니한다. 이러한 압류 현상은 바람으

로 인한 풍압차(Leeway)와 조류에 의한 유압차(Tideway)가 가장 큰 원인으로 작용한다. 이에 대해 선박 운항자는 침로를 유지하기 위해 적절히 타를 사용하여 선박의 진행방향을 결정한다.

3.6.2 압류 산출 방식^[11]

선체에 작용하는 압류는 크게 바람과 바람으로 인해 기인되는 파도, 그리고 조류 성분으로 나눌 수 있고, 이러한 압류에 대해 적절히 타(Rudder)를 사용하여 타압으로서 압류와의 균형을 취한다. 압류는 다음과 같이 표현된다.

$$F_y = Y_a + Y_w + Y_c + Y_\delta$$

단, F_y : 압류 Y_a : Wind Y_w : Wave
 Y_c : Current Y_δ : Rudder

압류는 풍압에 의한 풍압차 및 조류에 의한 유압차를 합하여 나타나며, 실제 선박의 진행방향은 이러한 압류와 선수미 방향의 합력 방향이 된다. 또한 선박에 작용하는 압류는 선박의 선수미선과 조류 및 바람의 방향과 깊은 관련이 있다. 특히 조류는 압류를 일으키는 직접적인 요소가 된다. 더불어 12,000TEU급 컨테이너 선박의 경우 건현(Freeboard)이 높아 바람을 받는 풍압면적이 넓어 바람에 의한 풍압차의 영향이 매우 크게 나타난다. 더불어 바람으로 인해 기인되는 파도의 영향 또한 무시 할 수는 없으나 정량적인 산출이 어려우므로 여기서는 생략하기로 한다. 바람, 조류, 파도 등에 의한 압류는 각각 다음과 같이 산출된다.

$$Y_a = \frac{1}{2} \rho C_a A v_a^2 \quad - \text{ Wind}$$

$$Y_w = \frac{1}{2} \rho C_{wy} S v_w^2 \quad - \text{ Wave}$$

$$Y_c = \frac{1}{2} \rho C_{wy} L d v_c^2 \quad - \text{ Current}$$

단, ρ : Wind의 경우 공기밀도로 $0.125 \times 10^{-3} (\text{ton sec}^2/\text{m}^4)$

조류의 경우 해수밀도로 $0.1046 (\text{ton sec}^2/\text{m}^4)$

C_a : 풍압저항계수 C_{wy} : 유압계수

A : 수선상 선체의 측면투영면적(m^2)

v_a : 풍속(m/s) v_c : 조속 v_w : 파속

S : 침수면적 [$S = L \cdot d$ (수선간장(380m) * d 평균흘수(15m))]

또한 풍압저항계수 및 유압계수는 12,000TEU급 선박에 대한 고유 값이 설계 모형실험에 의해 결정되어야 하지만, 여기서는 일반 선박의 계수 값(풍압저항계수 : 1.193, 유압계수 : 1.2)을 대표로 대입하기로 한다.^[11] 이들 계수는 바람 및 조류가 선박의 진행 방향과 이루는 각에 따른 각기 다른 값을 나타내고, 유압계수의 경우 수심 흘수비에 따라 천수 영향을 보정하여 사용하여야 한다.

이 식들을 이용하여 12,000TEU급 컨테이너 선박(풍압면적 $11,400\text{m}^2$)의 정횡 방향에서 바람을 받는 경우의 풍압은 다음과 같다.

$$Y_a = \frac{1}{2} \times 0.125 \times 10^{-3} \times 1.193 \times 11,400 \times v_a^2$$

$$= 0.85 v_a^2$$

이 식을 토대로 풍속의 변화에 따른 풍압은 <표 3-12>와 같으며 바람 방향에 따라 풍압저항계수 값을 보정하여 사용한다.

<표 3-12> 12,000TEU급 컨테이너 선박의 풍속 변화에 따른 풍압

풍 속 (kts)	10	20	26
풍 속(m/s)	5.14	10.28	13.36
풍 압	22.46	89.83	151.72

다음으로 12,000TEU급 컨테이너 선박의 유압차는 다음과 같다.

$$Y_c = \frac{1}{2} \times 0.1046 \times 1.2 \times 380 \times 15 \times v_c^2$$

$$= 357.73 \times v_c^2$$

이 식을 이용하여 유향각이 20°일 경우 조류 속력의 변화에 따른 유압차는 <표 3-13>과 같다.

<표 3-13> 12,000TEU급 컨테이너 선박의 조류속력 변화에 따른 유압

구 분	유 향 각 20°		
조류 속력(kts)	1.0	1.5	2.1 (최강낙조류)
조류 속력(m/s)	0.514	0.771	1.08
유 압	94.51	212.6	417.3

바람 방향이 좌현 90°, 조류 방향이 20°인 경우 12,000TEU급 컨테이너 선박이 압류에 의해 받는 힘은 <표 3-14>와 같다.

<표 3-14> 12,000TEU급 컨테이너 선박의 바람 및 조류에 대한 영향

풍 속 (kts)	조류속력 (kts)	압 류		총 압류
		풍 압	유 압	
26	1.0	127.64	94.51	222.15
26	1.5	127.64	212.6	340.24
26	2.1	127.64	417.3	544.94

3.6.3 압류 시뮬레이션

부산신항만 진입 항로에 대한 압류 현상을 확인하기 위해 앞에서 산출한 압류 값을 대입하여 실시간 시뮬레이션을 실시하였다. 우선 자연조건으로서는 최대 압류가 발생할 수 있도록 최강낙조류 145°-2.1kts와 동절기 최대 풍속인 NW-20kts의 값을 주어 압류에 의한 선박의 영향을 조사하였다.

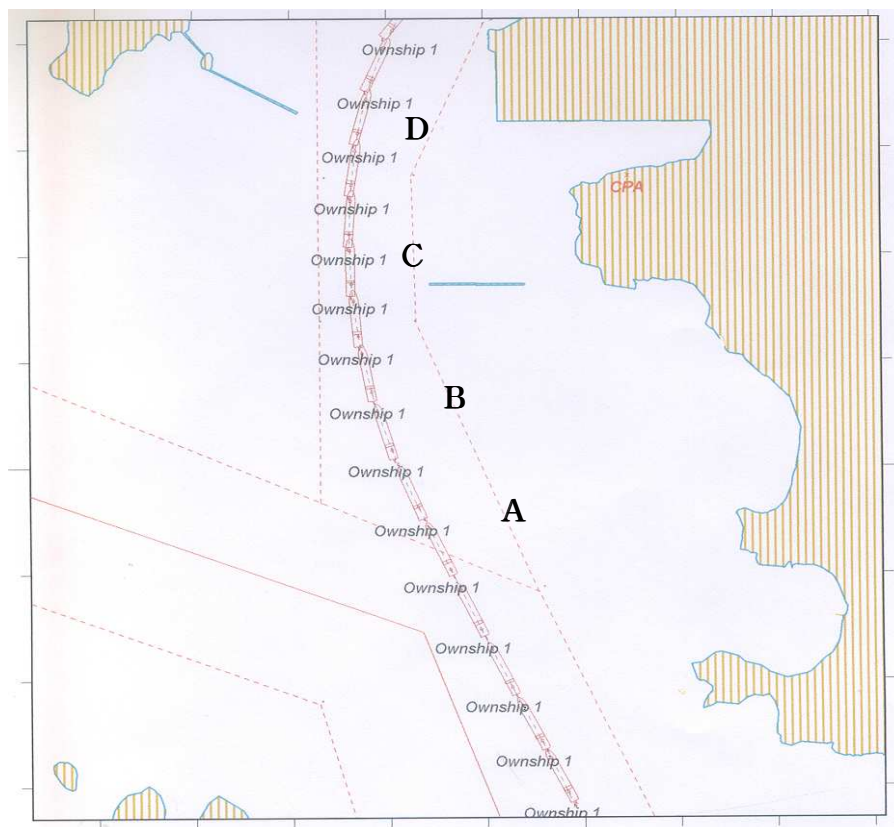
시뮬레이션은 다음과 같이 세분류로 나누어 실시하였다.

첫째, 선박이 지정된 항로상을 안전하게 통항하기 위해 선속을 10kts로 일정하게 유지하면서 타를 적절히 사용하여 입항하는 경우

둘째, 압류의 영향을 보기 위해 타를 전혀 사용하지 않고 속력을 감속하면서 입항하는 경우

셋째, 실제 접안을 가정하여 항로를 세부분으로 나누어 속력을 감속하면서 입항하는 경우

(1) 선속을 일정하게 유지하면서 입항하는 경우



<그림 3-10> 선속 10kts로 유지하고 타를 사용하여 입항하는 경우

대상 선박이 속력을 10kts로 일정하게 유지하면서 입항하는 경우이다. 이 경우에는 비교적 선속이 있어 압류 현상이 그다지 크지 않아 적절한 타각만으로 침로를 유지할 수 있다.

(2) 선속을 감속하면서 입항하는 경우

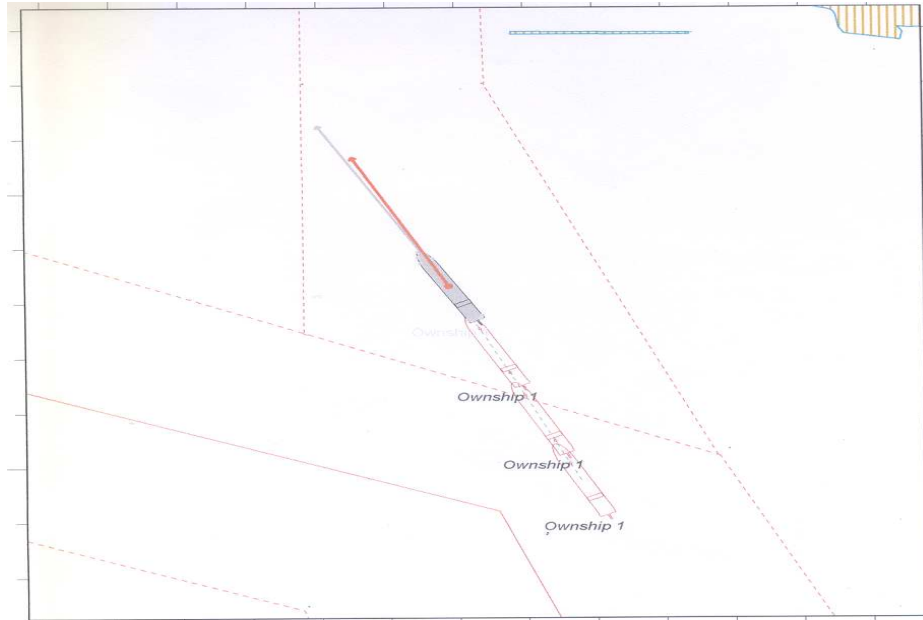
<그림 3-10>상에 표시된 A, B, C, D 지점에서 선속을 각각 8kts, 6kts, 4kts, 2kts로 감속하면서 입항하는 경우이다. 이때 압류에 의한 편각 및 선박 진행 방향을 확인하기 위해 타는 사용하지 않고 조선하였으며, 시뮬레이션 결과는 <표 3-15>와 같다.

<표 3-15> 압류 시뮬레이션 결과

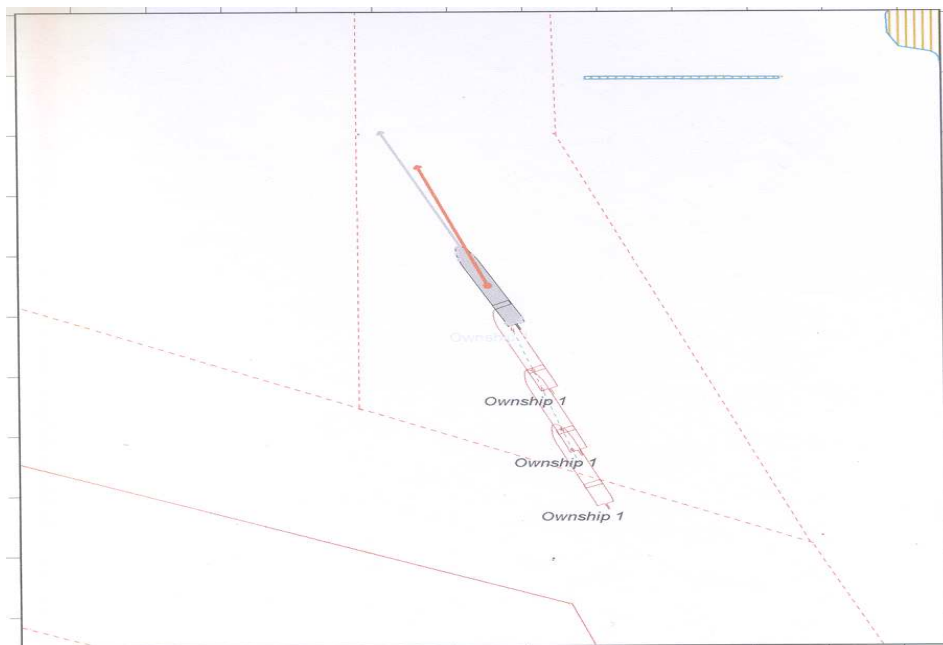
위치(선속)	바람	조류	침로	실침로	편각
A(8kts)	NW-20kts	145°-2.1kts	332°	335°	03°
B(6kts)	NW-20kts	145°-2.1kts	334°	339°	05°
C(4kts)	NW-20kts	145°-2.1kts	352°	008°	14°
D(2kts)	NW-20kts	145°-2.1kts	359°	041°	43°

<그림 3-11>은 바람과 조류가 선수 좌현 앞쪽에서 작용하며 선속이 8노트이므로 풍압차와 유압차에 의한 압류영향이 적은 편이다.

<그림 3-12>는 선박의 선속이 6노트인 경우의 압류현상을 보여주는 그림으로, 풍압차와 유압차에 의한 압류 영향이 점점 커지기 시작함을 알 수 있다.

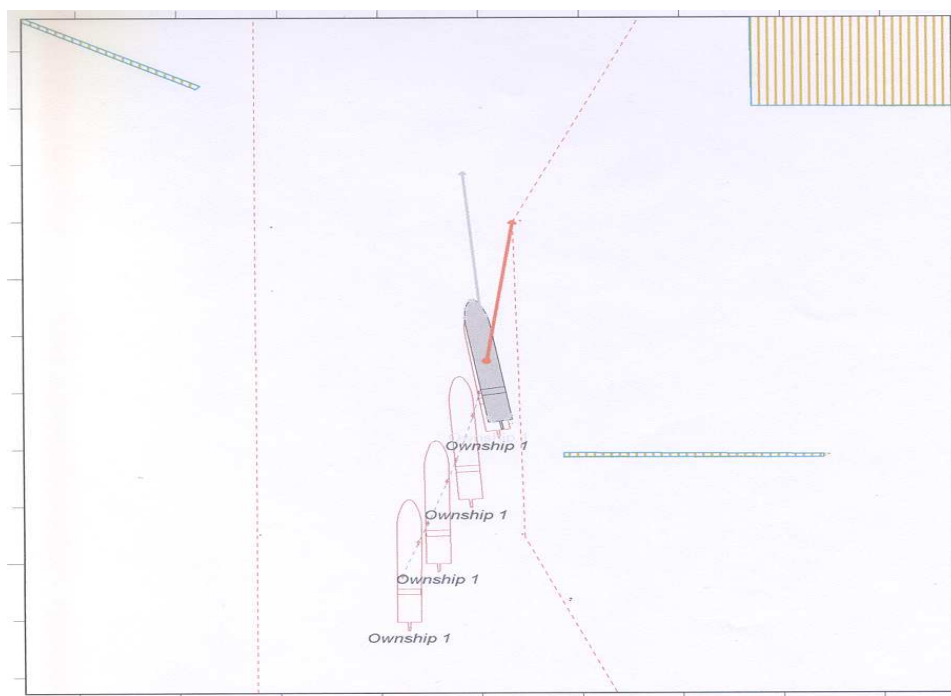


<그림 3-11> A 지점(8kts)에서의 편각



<그림 3-12> B 지점(6kts)에서의 편각

<그림 3-13>은 선속이 4노트인 경우의 압류현상을 보여주는 그림으로, 바람과 조류가 정횡 앞쪽에서 작용하고 있고 선속이 4kts로 작아 풍압차와 유압차에 의한 압류가 현저히 발생하고 있으며, 선체 또한 동방과제 쪽으로 밀리면서 선수가 풍상방향으로 회두하려 함을 알 수 있다.

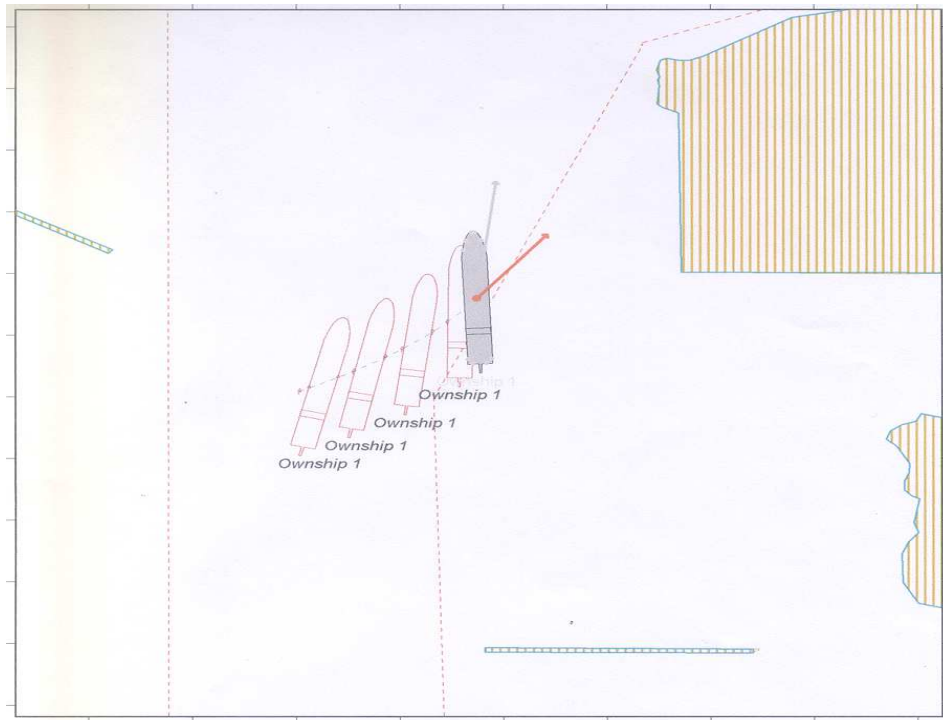


<그림 3-13> C 지점(4kts)에서의 편각

<그림 3-14>는 선속이 2노트인 경우의 압류현상을 보여주는 그림으로, 바람과 조류가 거의 좌현 정횡 부근에서 작용하고 있고 선속이 2kts로 작아, 풍압차와 유압차에 의한 압류가 최대로 작용하며, 선체의 횡이동 또한 현저히 일어나 선박의 침로를 유지하기 어려운 상황이 된다.

선박의 침로는 359°였으나 선수방위는 041°로 편각이 43°나 생겨 그림에서

보는 것처럼 우측으로 압류가 심하게 발생한다. 그러나 선미가 서방파제 끝을 통과하는 시점부터는 조류의 영향이 없어지는 것으로 보인다.



<그림 3-14> D 지점(2kts)에서의 편각

(3) 항로 위치별 실제 접안을 가정하여 입항하는 경우

부산신항만이 개장되어 부산신항만을 통항하는 선박이 항로의 각 위치별 (우측, 중앙, 서방파제 남측)로 구분하여 입항하는 경우를 다음과 같이 재현하여 분석하였다.

a) 항로 우측을 따라 입항하는 경우

<그림 3-15>는 부산신항만으로 입항시 선박이 항로의 우측을 따라 선속을

8kts ⇨ 6kts ⇨ 4kts로 감속하면서 입항하는 경우, 선체에 작용하는 압류 현상을 분석해 본 것으로, 바람과 조류는 같은 조건으로 하였다.



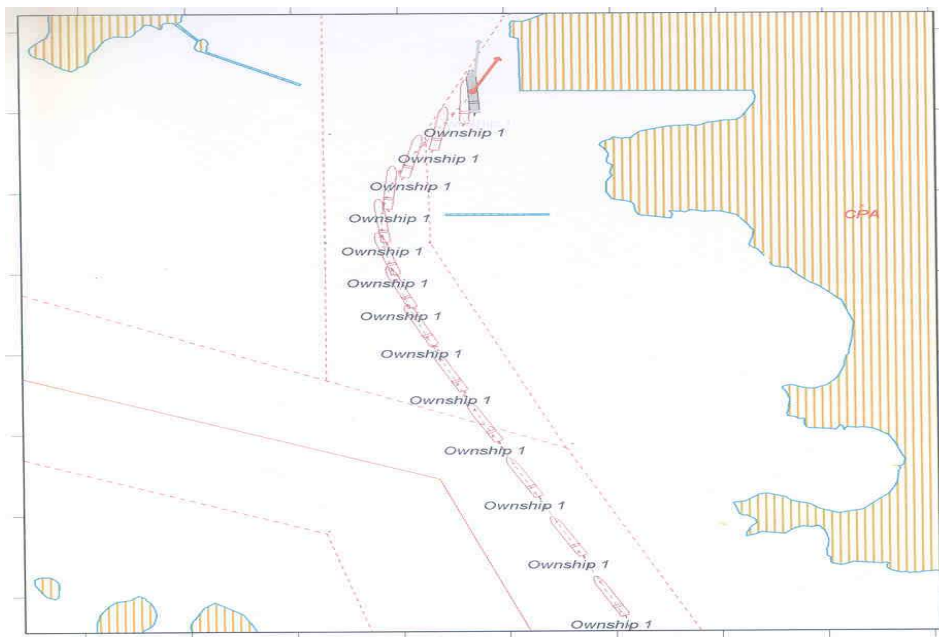
<그림 3-15> 항로 우측을 따라 입항하는 경우

동방과제 전방에서 침로를 변경하고자 작은 각도의 타각을 우현으로 사용하였으나 바람과 조류에 의해 침로를 유지하지 못하고 압류에 밀려 항로를 이탈하고 말았다. 따라서 낙조류가 강하게 흐르는 시간대와 강한 북서풍이 부는 시기에 항로의 우측을 따라 입항할 경우에는 이와 같은 압류의 영향을 충분히 감안하여야 할 것이며, 대형 해양사고의 위험을 사전에 예방하기 위해서는 이와 같은 입항 방법은 피하는 것이 좋을 것이다.

b) 항로 중앙을 따라 입항하는 경우

<그림 3-16>은 같은 바람과 조류의 조건 하에서 부산신항만 출입 항로의 중앙을 따라 입항하는 선박의 경우를 나타낸 것이다. 이 경우 선속을 8kts에

서 4kts로 감속하면서 동방파제를 통과한 후 침로를 변침하고자 우현타를 사용하였으나 선체에 작용하는 압류로 인해 항로를 이탈하였다. 또한, 압류 현상으로 선박이 계속해서 우현으로 선회하자 좌현타를 사용하여 선체를 회두시켜 보려 했으나 압류 현상을 이기지 못하고 계속해서 우현 정횡 방향으로 선체가 압류되고 있음을 알 수 있다.



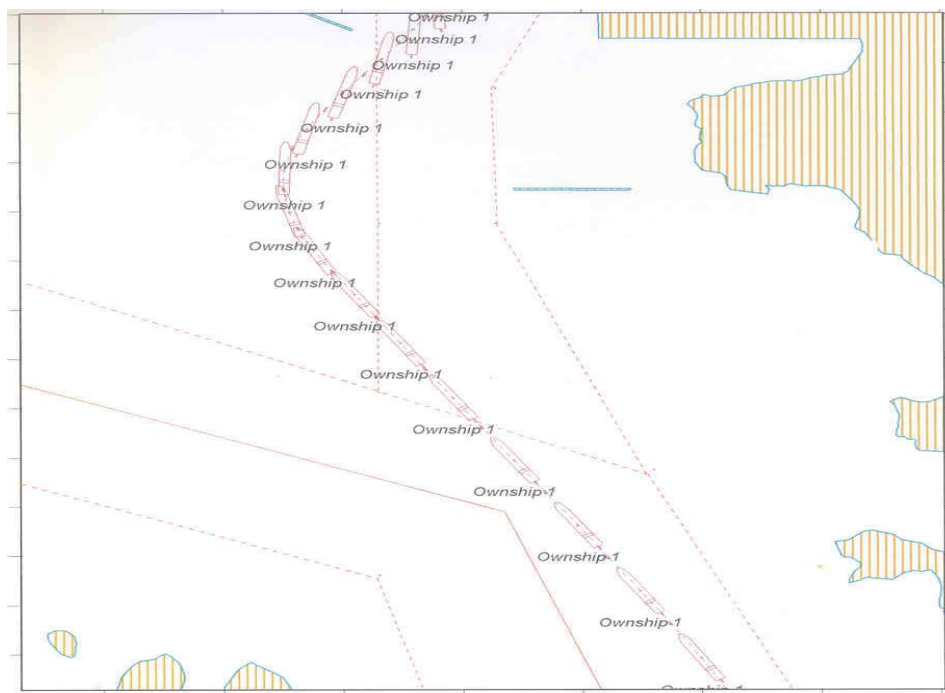
<그림 3-16> 항로 중앙을 따라 입항하는 경우

위에서 보는 바와 같이 강한 낙조류가 흐를 때나 북서 계절풍이 강하게 부는 때에 위와 같은 방법으로 입항하는 것은 아주 큰 위험성을 갖고 있으므로, 이러한 압류의 영향을 충분히 고려하여 입항 침로를 선택하여야 할 것이다.

c) 서방파제 남측에서 입항하는 경우

자연조건이 나쁠 경우 선체의 압류현상을 감안하여 서방파제 가까이 붙어

서 입항하는 자세를 나타낸 것이 <그림 3-17>이다. 그림에서 보는 것처럼 선체의 압류 현상은 앞의 두 경우와 마찬가지로 나타나지만, 우측에 충분한 수역을 확보해 두고 있기 때문에 사고의 위험성은 앞의 경우와 비교하여 현저하게 줄어드는 것을 알 수 있다.



<그림 3-17> 서방파제 남측에서 입항하는 경우

시뮬레이션 결과 선속 4kts 이하에서는 최대풍속 및 낙조류하에서 선박의 침로유지가 매우 어려운 것을 알 수 있었다. 물론 동방파제 남측에서부터 예인선을 붙여 예인선의 도움을 받으면서 입항하는 방법을 고려해 볼 수 있으나, 과다한 예인선 사용료는 차치하고라도 강조류 및 강풍이 부는 상황에서 예인선이 제 역할을 할 수 있을지 기대하기 어렵고, 또한 악화된 기상상태에서 예인선이 동방파제 바깥에서 대기하는데도 어려움이 따를 것으로 판단된다.

<그림 3-17>에서 보는 바와 같이 서방과제 가까이 붙어서 입항하는 경우에는 서방과제 남측에 선박의 가항 수역을 최대한 확보하여 출입 항로를 최대한으로 넓게 설정하여야 하기 때문에 준설구역을 확대해야 하는 어려움이 따른다. 그러나 <그림 3-15> 및 <그림 3-16>에서 확인했듯이 이러한 항로배치를 가지고서는 강풍 및 강조류로 인한 압류 현상을 극복하지 못할 것으로 판단된다. 따라서 서방과제 남측 수역을 준설하여 선박의 항로를 넓게 지정해주는 것이 조종 성능이 열악한 선박이나, 기상 악화시 선박의 통항 안전 및 원활한 출입을 확보하는데 바람직하다고 판단된다. 이에 따라 앞에서 제시된 제1안과 제4안의 항로배치중 제1안에 비해 제4안이 더 안전한 것으로 판단된다.

제4장 가덕도 부근해역 항로배치

4.1 해상교통조사

항로배치나 관리용 시설을 포함하는 해상교통시스템이나 사고예방시스템을 설계하기 위해서는 사전에 해상교통조사를 실시하여 교통특성을 파악해야만 한다. 즉, 선박의 통항패턴, 진행방향 및 속력 등을 분석하여 적절한 항행원조시설을 설계할 수 있다.^[8]

가덕도 근해 해상교통조사는 가덕도 부근해역의 해상교통흐름을 파악하기 위해 가덕도 등대에서 목시관측과 레이더관측을 병행하여 실시하였다. 대상해역은 가덕도 등대 기준 반경 10마일 까지였으며, 2003년 5월 13일(화요일) 1800시부터 2003년 5월 17일(토요일) 0400시까지 가덕도 등대에서 총 82시간 실시하여 교통조사기간의 신뢰성을 얻었다. 사용 장비는 스캐너, 지지대, 컨버터, 모니터, 전선 및 발전기로 구성되어 있는 휴대용 레이더(ANRITSU RA770UA)를 이용하였으며, 모니터의 스크린상에 O.H.P. 필름을 얹어 두고 일정 시간간격(3분)으로 선박의 항적을 기록하였다.

관측기간 동안 레이더관측에 병행하여 목시관측을 실시하여 선박의 종류 및 크기를 관측하고자 하였으나 야간에는 식별이 어려워 대부분 레이더 관측만을 실시하였다. 관측인원은 야간 관측조 2명, 주간 관측조 2명, 지원조 3명, 총 7명이며, <표 4-1>과 같은 조사기록지를 이용하여 교통조사를 실시하였다. 목시관측으로는 선명, 선종, 선박의 크기, 진행방향, 목시선 통과시각을

관측하였고, 레이더관측으로는 일정시간 간격으로 선박의 항적을 기점하여 항적 및 선속을 구하였다. 이렇게 기록된 자료들을 각 항목별로 분류하고 통계적으로 분석하여 교통특성을 얻을 수 있었다.

<표 4-1> 데이터 기록지

선박 번호	일시	통과 시각	목시선 번호	진행 방향	선종	총톤수	선명	선속	비고
001	5/14	12:20	B	SW	1	6		5.6	
002									
...									
...									
선종 기입번호 1: 화물선 2: 유조선 3: 액화석유가스운반선 4: 액화천연가스운반선 5: 컨테이너선 6: 여객선 7: 어선 8: 예인선 9: 관공선 10: 기타					선박크기 기입번호 1: 100톤미만 2: 100~500톤미만 3: 500~3,000톤미만 4: 3,000~5,000톤미만 5: 5,000~7,000톤미만 6: 7,000~10,000톤미만 7: 10,000~20,000톤미만 8: 20,000톤이상				

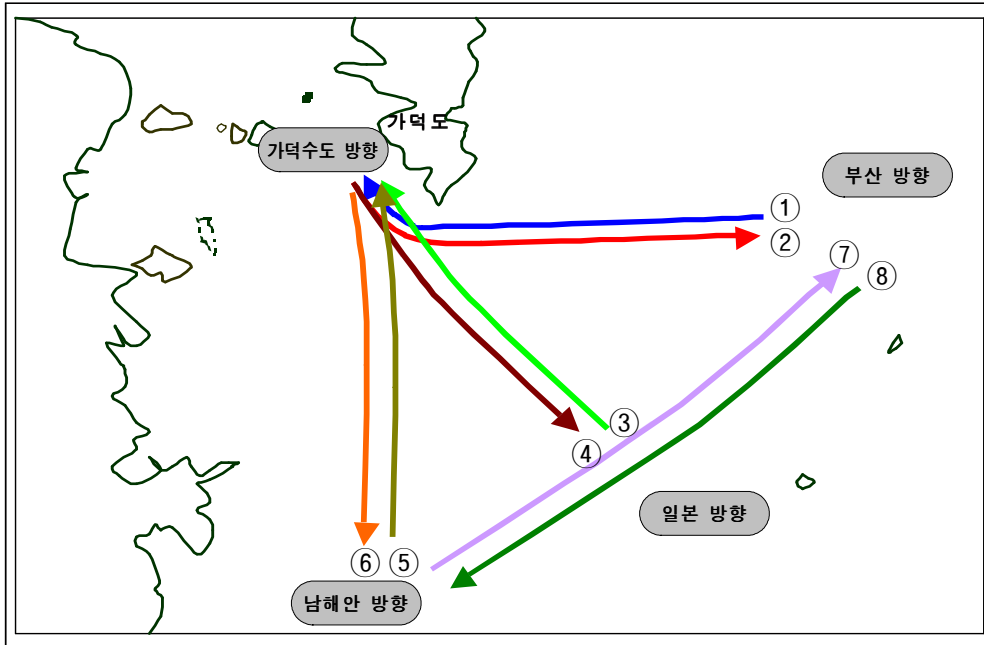
관측한 선박은 총 352척으로 <표 4-2>에서 보는 바와 같다. 5월 14일(수요일)에 관측된 선박이 가장 많은 118척이었고, 5월 15일(목요일)에는 80척이 관측되었는데 이는 기상불량에 의한 화물선, 여객선 등의 항행이 적었기 때문으로 판단된다.

<표 4-2> 일일 관측선박

일시 \ 선종	화물선	여객선	어선	관공선	예인선	계
5월 13일(화) 1800-2400	25	4	5	1	6	41
5월 14일(수) 0000-2400	62	22	4	9	21	118
5월 15일(목) 0000-2400	44	12	2	2	20	80
5월 16일(금) 0000-2400	48	19	2	8	23	100
5월 17일(토) 0000-0400	10	0	0	1	2	13
합 계	189	57	13	21	72	352

(1) 교통 항적도

각각의 항로를 분석하여 항적이 집중되는 위치에 중점을 두고 전체 항적을 OD(Origin, Destination)별로 나누어 <그림 4-1>과 같이 총 8개 방향으로 통항경로대를 설정하였다. 통항경로대중 ①, ③, ⑤는 입항, ②, ④, ⑥은 출항, ⑦, ⑧은 횡단하는 선박을 나타내고 있다. 각각의 통항경로대를 OD별로 살펴보면 ①경로대는 부산에서 가덕수도 방향, ②경로대는 가덕수도에서 부산방향, ③경로대는 일본에서 가덕수도 방향, ④경로대는 가덕수도에서 일본방향, ⑤경로대는 남해안에서 가덕수도 방향, ⑥경로대는 가덕수도에서 남해안 방향, ⑦경로대는 남해안에서 부산방향, ⑧경로대는 부산에서 남해안 방향으로 선박의 항적을 나눌 수 있다.



<그림 4-1> 동향경로대별 항적도

a) 부산~가덕수도간 선박 항적

<그림 4-2>는 부산~가덕수도간 양방향 선박 항적도를 나타낸다.

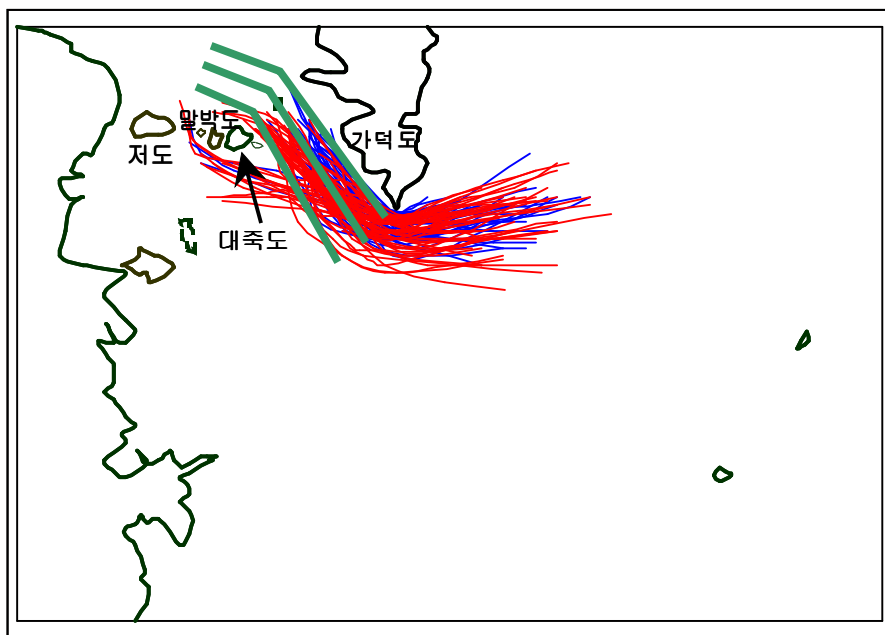
부산~가덕수도간 선박통항척수는 입항경로대(①)가 68척, 출항경로대(②)가 72척으로 총 150척, 전체 통항량의 39.8%를 차지했다.

선종별 분포로는 화물선이 59척(39.3%), 여객선이 18척(12.0%), 예인선이 47척(31.3%) 통항하였다.

크기별 분포로는 100~500톤이 47척(31.3%), 500~3,000톤이 64척(42.7%)으로 100~3,000톤 사이의 선박이 대다수를 차지했으며 10,000톤 이상의 대형선은 5척(3.3%)이었다.

지정된 항로 이용도 면에서는 입항선박은 지정된 항로를 잘 준수하는 편이었으나, 출항선의 경우 항해거리를 줄이기 위해 통항분리 끝에서 가덕도측으

로 붙어 항해함으로서 항로를 이탈하는 경우가 다소 있었다. 특히, 어선과 여객선의 경우 항해거리를 줄이기 위해 저도와 말박도 사이로 통항하거나 입항하는 침로인데도 출항하는 항로를 가로질러 대죽도 북단 500m 이내로 통항하려는 경향이 있었다.



<그림 4-2> 부산~가덕수도간 양방향 선박 항적도

b) 일본~가덕수도간 선박 항적

<그림 4-3>은 일본~가덕수도간 양방향 선박의 항적도를 나타낸다.

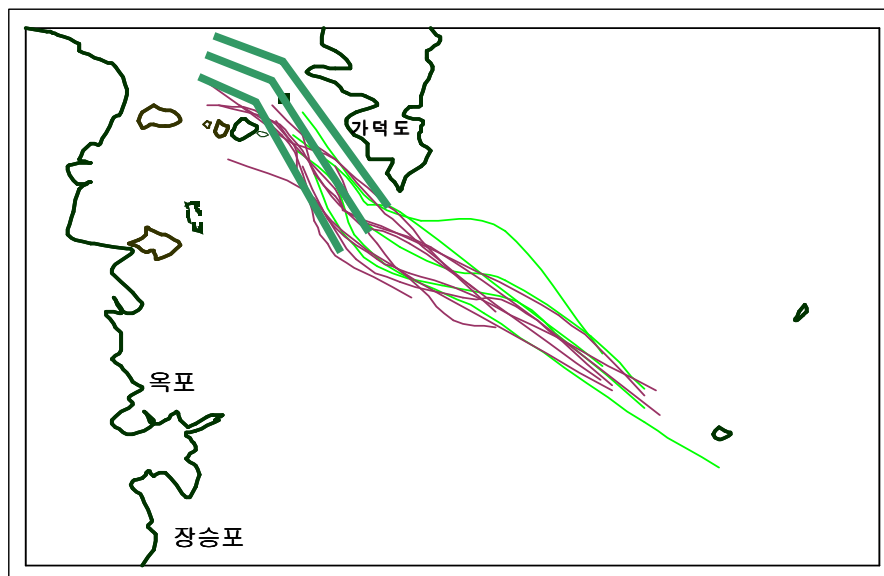
일본~가덕수도간 선박 통항척수는 입항경로대(③)가 8척, 출항경로대(④)가 17척으로 총 25척, 전체 통항량의 7.1%를 차지했다.

선종별 분포로는 화물선이 16척(64%), 예인선이 4척(16%) 통항하였다.

크기별 분포로는 500~3,000톤이 8척(32%), 3,000~5,000톤이 6척(24%)으로 500~5,000톤 사이의 선박이 대다수를 차지했으며 10,000톤 이상의 선박은 3

척(12%)이었다.

지정된 항로 이용도 면에서는 대부분의 선박이 통항분리 수로 안쪽으로 통항하였다. 그러나 입항하는 선박중 몇 척은 항해거리를 줄이기 위해 출항항로로 이동하는 경우가 있었다. 출항하는 선박은 대부분이 지정된 항로를 준수하였다. 일본~가덕수도간 이용선박은 부산~거제(옥포, 장승포)간 여객선 및 남해안~부산간 이동 선박과 횡단하는 항로이기 때문에 항해에 특히 유의하여 항해할 필요성이 있는 것으로 조사되었다. 타 경로대에 비해 선박의 출입이 가장 적은 항로대였다.

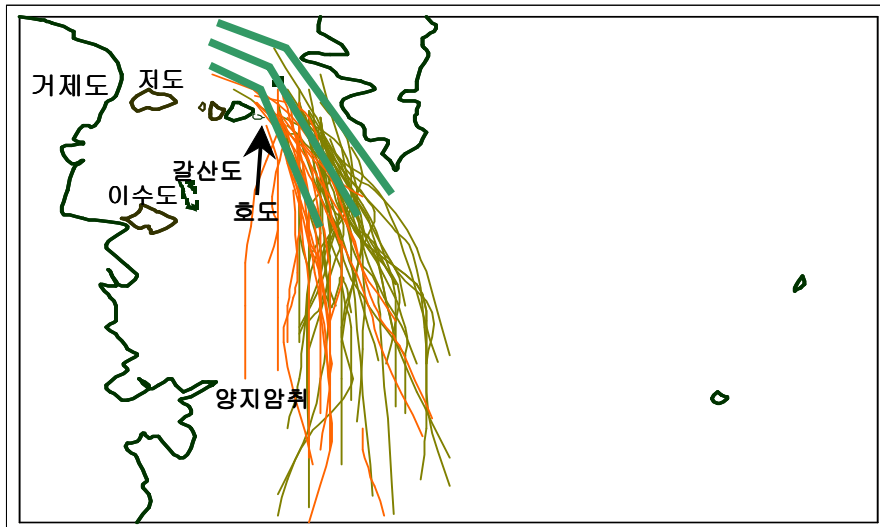


<그림 4-3> 일본~가덕수도간 양방향 선박 항적도

c) 남해안~가덕수도간 선박 항적

<그림 4-4>는 남해안~가덕수도간 양방향 선박 항적도를 나타낸다.

남해안~가덕수도간 선박통항척수는 입항경로대(⑤) 39척, 출항경로대(⑥) 23척으로 총 62척, 전체 통항량의 17.6%를 차지했다.



<그림 4-4> 남해안~가덕수도간 양방향 선박 항적도

선종별 분포로는 화물선이 46척(74.2%), 관공선이 10척(16.1%), 예인선이 4척(6.5%) 통항하였다.

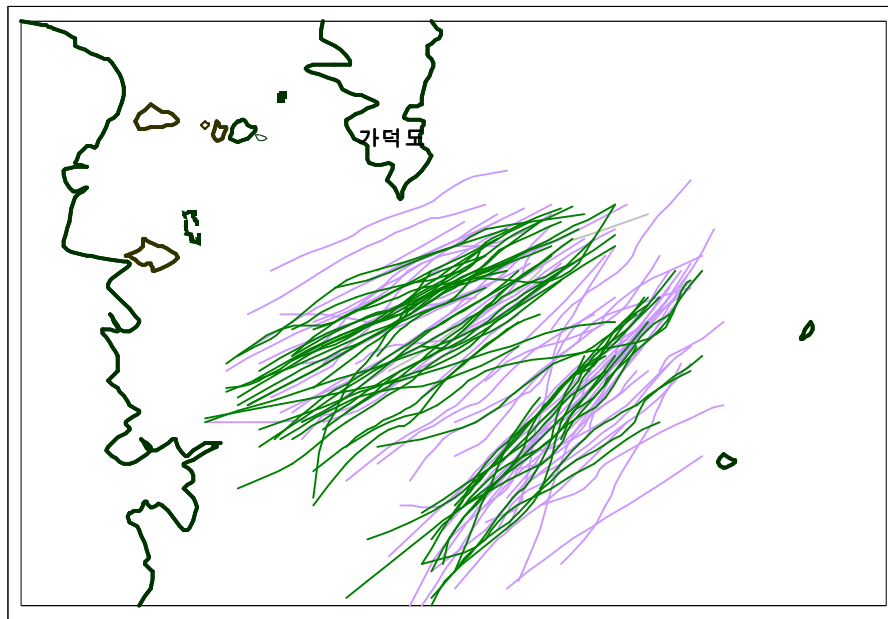
크기별 분포로는 100~500톤이 9척(14.5%), 500~3,000톤이 21척(33.9%), 3,000~5,000톤이 13척(21%)으로 대다수를 차지했으면 10,000톤 이상의 대형선은 9척(14.5%)이었다.

지정된 항로 이용도 면에서는 대부분의 선박이 지정된 항로를 준수하여 항해하였으나 입항선의 경우 항해거리를 단축하기 위해 출항항로로 이동하는 경우가 다소 있었다. 출항선은 대부분 지정된 항로를 준수하였는데 양지암취 근해에서 조업하기 위해 이동하는 어선의 경우 호도를 통과후 곧바로 조업지(양지암취) 근해로 이동하였다. 또한 양지암취 근해에서 조업하는 어선 일부 및 100~200톤 가량의 어물운반선이 이수도~갈산도, 거제도~저도 사이로 이동하는 것이 관측되었다. 남해안~가덕수도 이용선박은 부산~거제(옥포, 장승포) 이동 여객선과 횡단하는 항로이기 때문에 항해에 특히 유의하여 항

해할 필요성이 있는 것으로 조사되었다.

d) 남해안~부산간 횡단선박 항적

<그림 4-5>는 남해안~부산간 횡단선박의 항적도를 나타내고 있다.



<그림 4-5> 남해안~부산간 횡단선박 항적도

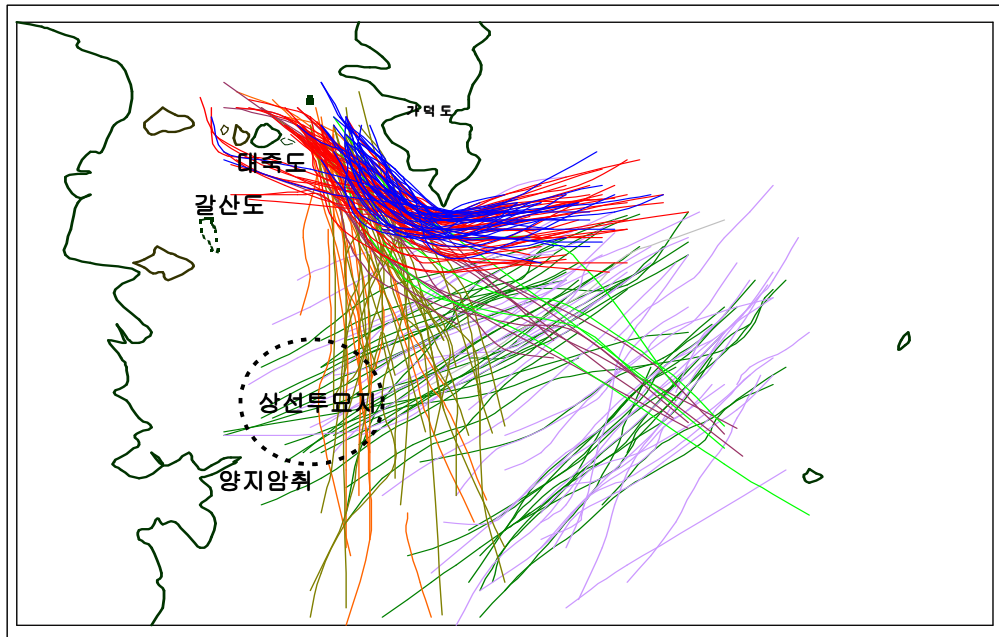
남해안~부산간 횡단선박 척수는 ⑦경로대가 62척, ⑧경로대가 63척으로 총 125척, 전체통항량의 35.5%를 차지했다.

선종별 분포는 화물선이 70척(56%), 여객선이 36척(28.8%), 예인선이 17척(13.6%) 통항하였다. 여객선의 경우에는 부산~거제(옥포, 장승포)간을 정기적으로 운행하였다.

크기별 분포로는 100~500톤이 37척(29.6%), 500~3,000톤이 27척(21.6%)으로 대부분을 차지하였고, 10,000톤 이상의 선박은 22척(17.6%)이었다.

e) 전체선박 항적

<그림 4-6>은 전체 통항량을 나타낸 그림이다.



<그림 4-6> 전체 통항량 항적도

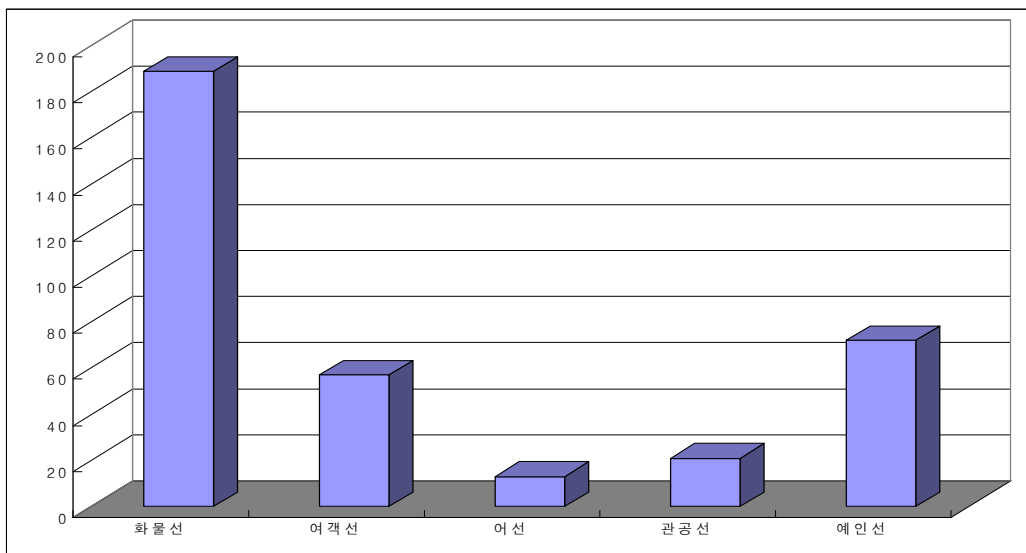
조사결과 가덕도 남단해역은 가덕수도 이용선박과 부산~남해안 횡단선박으로 인해 선박의 통항량이 상당히 빈번하였다. 가덕도 남단의 경우 항해상 장애물이 없고 수심이 양호(20~30M)하여 선박이 가덕도에 가까이 접근하여 이동하려는 경향이 있었다. 항해상 유의해야할 점은 부산~거제도(고현, 옥포, 장승포)간 여객선의 경우 가덕수도를 출입하는 선박과 횡단하는 상태로 고속항해하기 때문에 주의가 필요한 것으로 조사됐다. 그 외에도 옥포항 근해에서 LNG 및 화물선이 평균 5~10척 투묘중이었고, 어선의 경우에는 대죽도 남단, 갈산도 근해, 양지암취 근해에서 평균 10~20척 조업하였다.

(2) 선종별 분포

<표 4-3>과 <그림 4-7>은 선종별 분포를 나타낸 것이다.

<표 4-3> 선종별 분포

선종 일시	화물선	여객선	어선	관공선	예인선	계
척수	189	57	13	21	72	352



<그림 4-7> 선종별 분포

관측한 선박을 종류별로 구분하면 화물선이 189척, 예인선이 72척, 여객선이 57척으로 대부분을 차지했으며, 어선 13척, 관공선도 21척으로 조사되었다. 여객선은 매일 부산~고현간 3척이 18회, 부산~장승포간 3척이 14회, 부산~옥포간 2척이 10회로 총 42회의 운항이 계획되어 있었다. 조사결과 일일

평균 18회의 운항이 있었는데, 실제조사와 운항회수와의 차이는 조사기간내 기상미량하였고, 여객선 2척이 수리관계로 잠시 운항이 중단되었기 때문이다. 또한 어선이 13척으로 관측척수가 낮는데 이는 기상불량도 한 원인이지만 조업하는 어선이 대부분이어서 이동하는 어선외에는 조사에 포함시키지 않았다.

(3) 선박의 크기

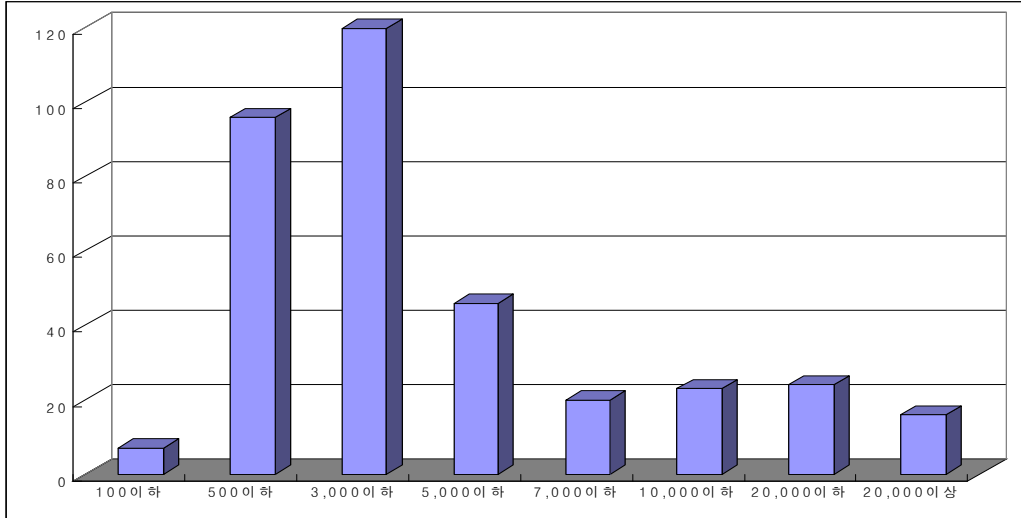
선박크기의 구분은 100톤 미만, 100~500톤, 500~3,000톤, 3,000~5,000톤, 5,000~7,000톤, 7,000~10,000톤, 10,000~20,000톤, 20,000톤 이상으로 총 8개로 구분하여 선박크기 분포도를 작성하였다.

<표 4-4>와 <그림 4-8>은 선박의 크기 분포를 나타낸다.

<표 4-4> 선박 크기 분포

구 분	100톤 미만	100- 500톤	500- 3,000톤	3,000- 5,000톤	5,000- 7,000톤	7,000- 10,000톤	10,000- 20,000톤	20,000톤 이상	계
척수	7	96	120	46	20	23	24	16	352

100~500톤이 96척, 500~3,000톤이 120척으로 100~3,000톤 사이의 선박이 전체 통항량의 61.4% 차지했다.



<그림 4-8> 선박 크기 분포

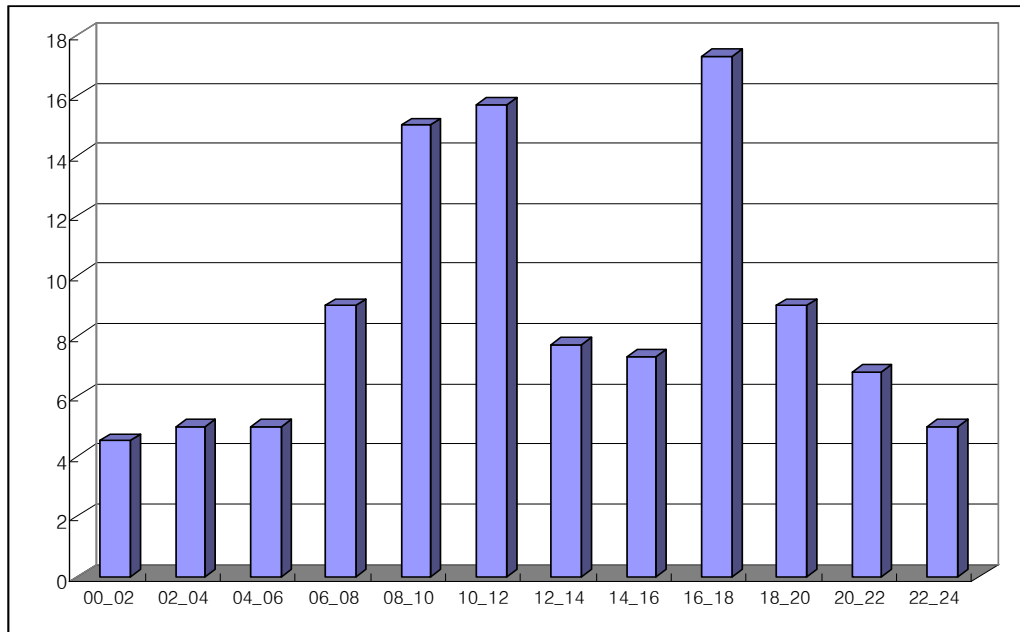
(4) 선박 통항 시간대

시간대별 관측은 2시간 간격으로 분포도를 작성하였다.

<표 4-5>와 <그림 4-9>는 시간대별 관측 결과이다.

<표 4-5> 통항 시간대별 분포

시간 일자	00- 02시	02- 04시	04- 06시	06- 08시	08- 10시	10- 12시	12- 14시	14- 16시	16- 18시	18- 20시	20- 22시	22- 24시	합 계	평균
5/13	·	·	·	·	·	·	·	·	·	25	10	6	41	13.7
5/14	5	8	6	11	17	16	10	10	15	5	9	6	118	9.8
5/15	3	1	4	9	11	12	6	7	19	2	2	4	80	6.7
5/16	5	3	5	7	17	19	7	5	18	4	6	4	100	8.3
5/17	5	8	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	13	6.5
합계	18	20	15	27	45	47	23	22	52	36	27	20	352	
평균	4.5	5	5	9	15	15.7	7.7	7.3	17.3	9	6.8	5		



<그림 4-9> 통행 시간대별 분포

0800~1200시 사이가 일일평균 15척, 1600~1800시 사이가 일일평균 17척으로 통행량이 가장 많았으며, 2200~0600시 사이에는 평균 5척으로 통행량이 가장 적었다.

4.2 선회항로 배치

앞절의 해상교통조사에서 알 수 있는 바와 같이 가덕도 부근의 해역에서는 현재에도 많은 선박들이 동서, 남북 방향으로 움직이고 있어 충돌사고의 위험이 높다고 할 수 있다. 장차 부산신항만이 개장되면 이 해역의 교통량이 증가하는 것은 자명한 일이다. 이 복잡한 교통으로 인한 사고를 방지하기 위해 해상교통분리제도중 선회항로를 제안하기로 한다.

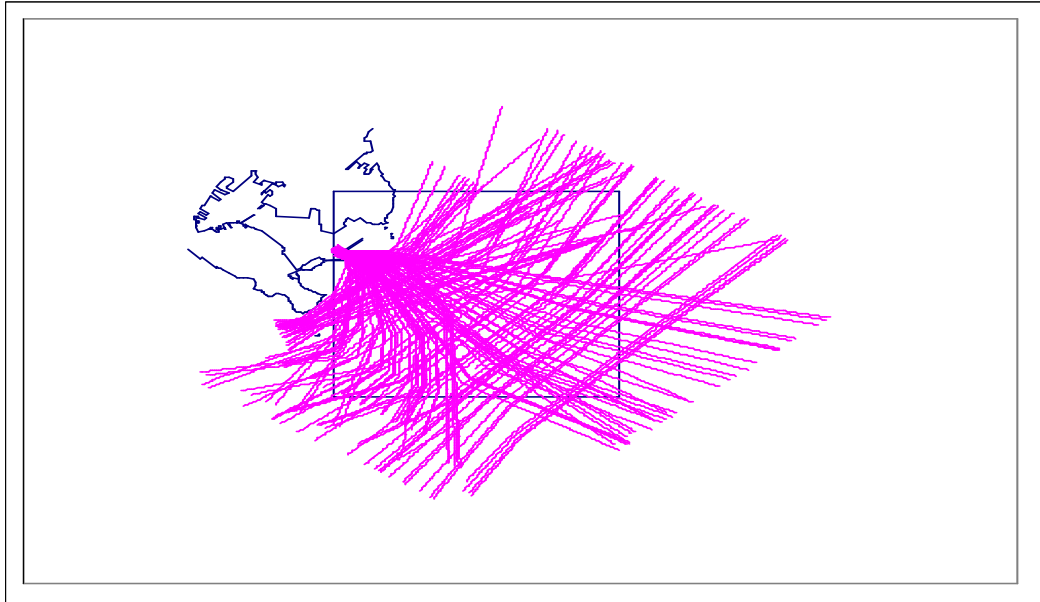
4.2.1 국내 선회항로 연구 사례

박영수(1998)는 부산항의 교통량 증가에 따른 충돌사고와 선박사고를 방지하기 위해 부산항 접근수역을 대상으로 교통관측조사를 실시하고 관측결과를 분석하여, 이 구역에서의 교통류 정류에 의한 안전성 향상을 위해 선회항로의 설치를 주장하였다.^[9]

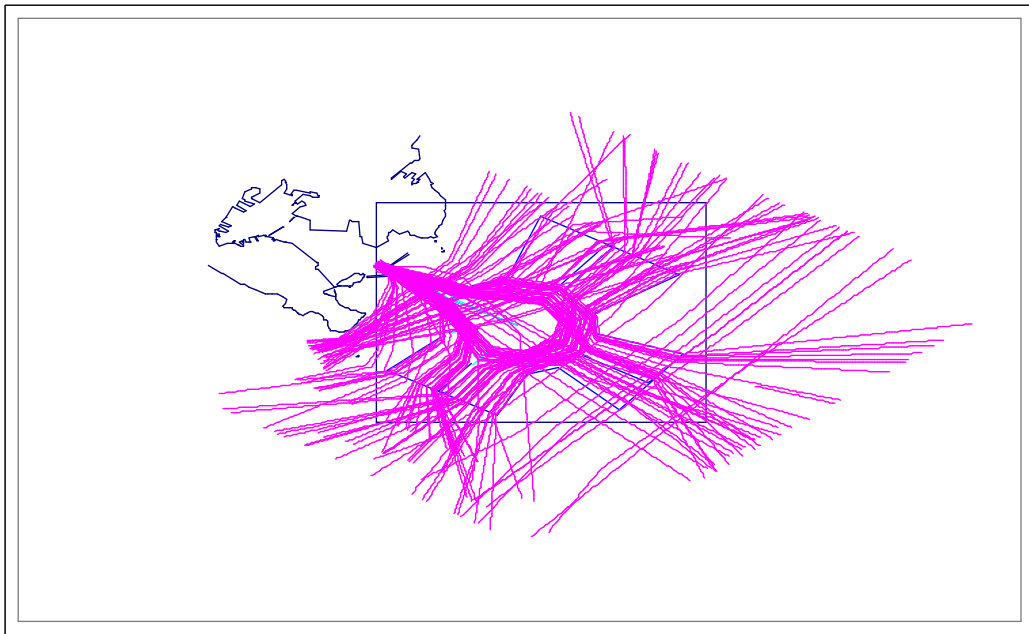
강영식(2001)은 부산항 접근수역의 현행 통항분리방식과 박영수(1998)의 선회항로에 대한 해상교통의 안전성을 정량화된 평가지표(ESA)로서 상호 비교·분석하여 선회항로 설치의 타당성 여부를 검증하였다.^[2]

이 절에서는 강영식(2001)의 “부산항 접근수역에 대한 해상교통안전성평가에 관한 연구” 사례를 살펴보았다.

이 연구는 해상교통류 시뮬레이션과 그 결과 발생한 교통류를 평가하는 것을 주된 내용으로 하고 있다. 이를 위하여 부산항 접근수역에 대한 실측조사를 통하여 해상교통류 시뮬레이션을 실시하였으며, 제안된 선회항로에 의해 예상되는 교통류를 예측하여 또 하나의 해상교통류 시뮬레이션을 실시하였다. 그리고, 두 상황의 교통류를 각각 평가·비교함으로써 제안된 대책안의 타당성을 검증하였다. <그림 4-10>, <그림 4-11>은 부산항 접근수역에서 교통조사를 실시하여 총 277척의 선박을 기초로 시뮬레이션을 실시한 결과이다.



<그림 4-10> 현행 통항분리대 시뮬레이션 선박의 항적

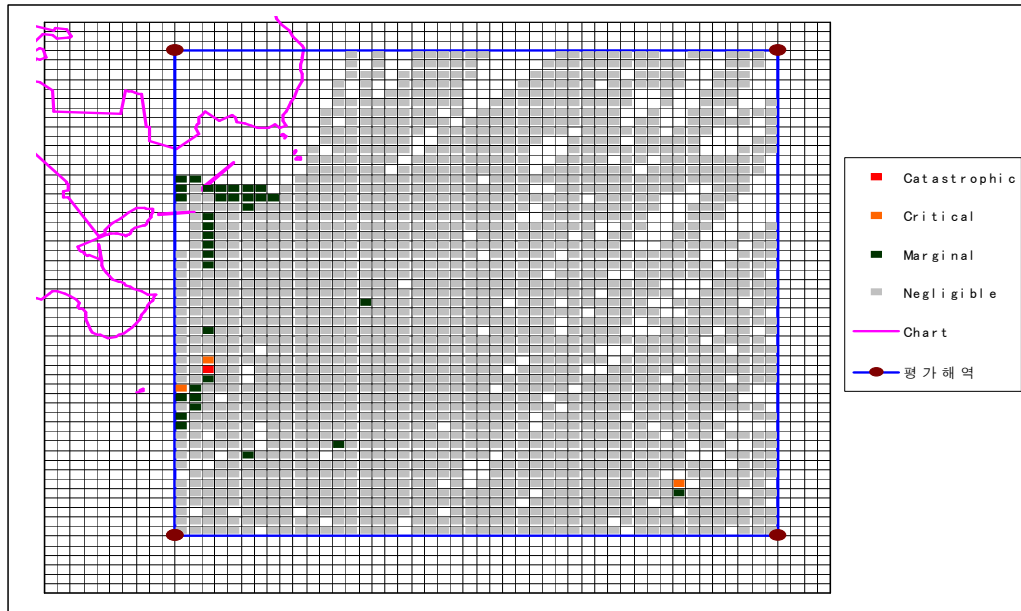


<그림 4-11> 선회항로 시뮬레이션 선박의 항적

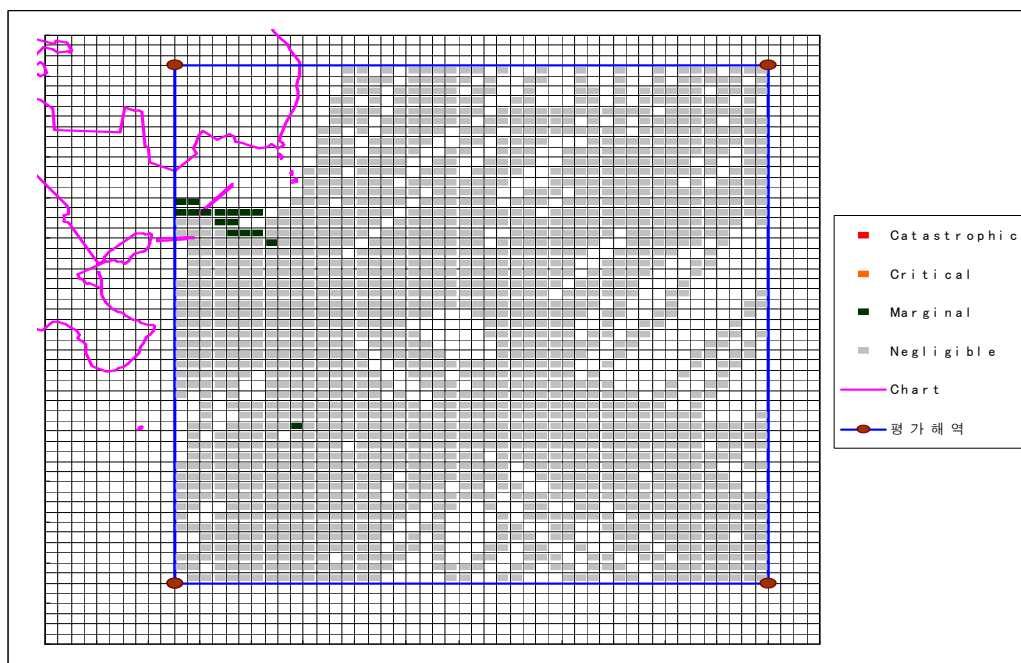
평가는 평가해역내에서의 ESA의 위치별 분포를 비교하는 방법으로 이루어졌다. <그림 4-12>와 <그림 4-13>은 각각 현행 통항분리대의 교통류와 선회항로에 의한 교통류를 평가하기 위한 250m의 정방형 격자 위치별 ESA 분포도이다. 격자 위치별 결과를 살펴보면 현행 통항분리대의 교통류는 오륙도 방파제 부근 및 생도 부근의 사각형에서 높은 ESA 평균치를 나타내고 있다. 선회항로에 의한 교통류는 방파제 부근을 제외하고는 거의 ESA 평균치가 500이하로 나타나므로 현행 통항분리대보다 ESA 평균치가 상당히 감소한 것을 알 수 있다. 두 통항분리대에 대한 결과를 구체적으로 살펴보면 현행 통항분리대의 경우 ESA치가 500이상 750이하인 Marginal 사각형이 22개, 750이상 900이하인 Critical의 사각형이 3개 그리고 900이상인 Catastrophic의 사각형이 1개로 나타났다. 그러나 선회항로에 의한 교통류 평가결과는 ESA치가 Marginal 사각형이 16개이고, 그 이상의 ESA치는 기록되지 않았다³⁾.

3) 정량화된 평가지표(ESA) 수치

- 0~500 : 어느 쪽을 향하여도 대단히 안전하다고 느끼는 상태에서 안전과 위험의 어느 쪽도 아니라고 느끼는 상태까지의 범위를 의미
- 500~750 : 안전과 위험의 어느 쪽도 아니라고 느끼는 상태에서 조금 위험을 느끼는 상태까지의 범위
- 750~900 : 조금 위험을 느끼는 상태에서 위험을 느끼는 상태까지의 범위
- 900~1,000 : 위험을 느끼는 상태에서 대단히 위험을 느끼는 상태까지의 범위



<그림 4-12> 현행 통항분리대의 ESA 분포



<그림 4-13> 선회항로의 ESA 분포

4.2.2 외국의 유사항로 사례 조사 · 분석

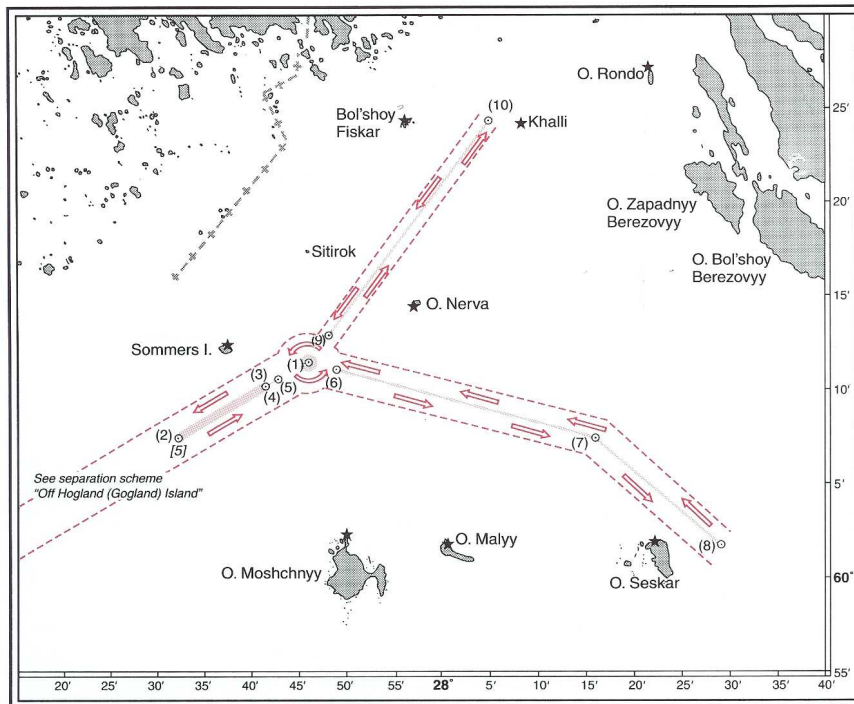
(1) SOMMERS섬 외해

a) 항로의 연결부

- $60^{\circ} 01.50'N$, $027^{\circ} 46.20'E$ 의 위치를 중심으로 직경 0.5해리의 원형통항분리대 설정
- 원형통항분리대 외곽에 폭 1.25해리의 선회항로 설정

b) 통항로 및 항로의 분리대

- 통항로의 폭은 1~1.25 해리로 설정
- 분리선 또는 0.5해리의 분리대가 설정



<그림 4-14> SOMMERS섬 외해

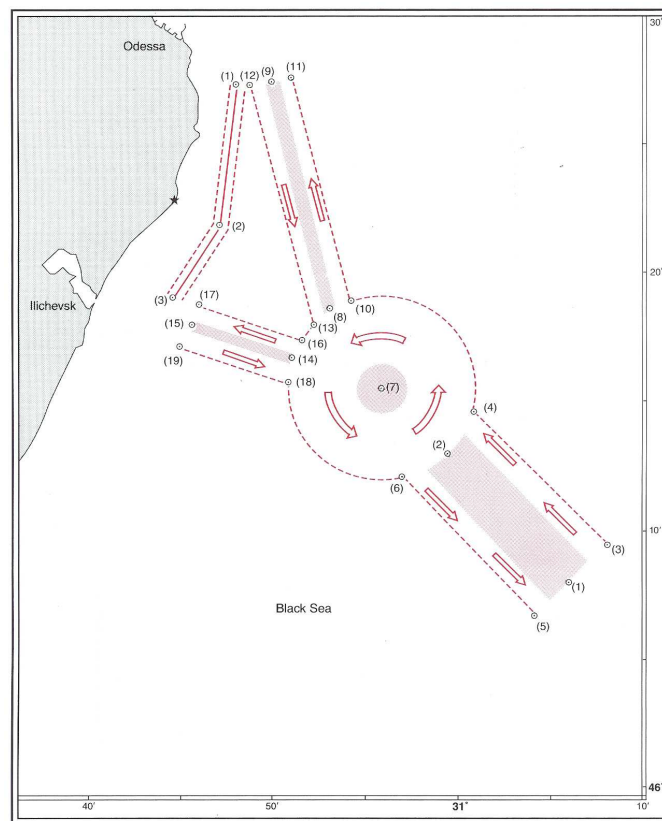
(2) ODESSA항과 ILICHEVSK항 사이

a) 항로의 연결부

- $46^{\circ} 15.60'N$, $030^{\circ} 56.10'E$ 의 위치를 중심으로 직경 2.0해리의 원형통항분리대 설정
- 원형통항분리대 외곽에 폭 2.5해리의 선회항로 설정

b) 통항로 및 항로의 분리대

- 통항로는 지정된 점을 연결하여 설정
- 분리대의 폭은 0.5~2.0해리로 설정



<그림 4-15> ODESSA항과 ILICHEVSK항 사이

(3) FALSTERBOREV 외해

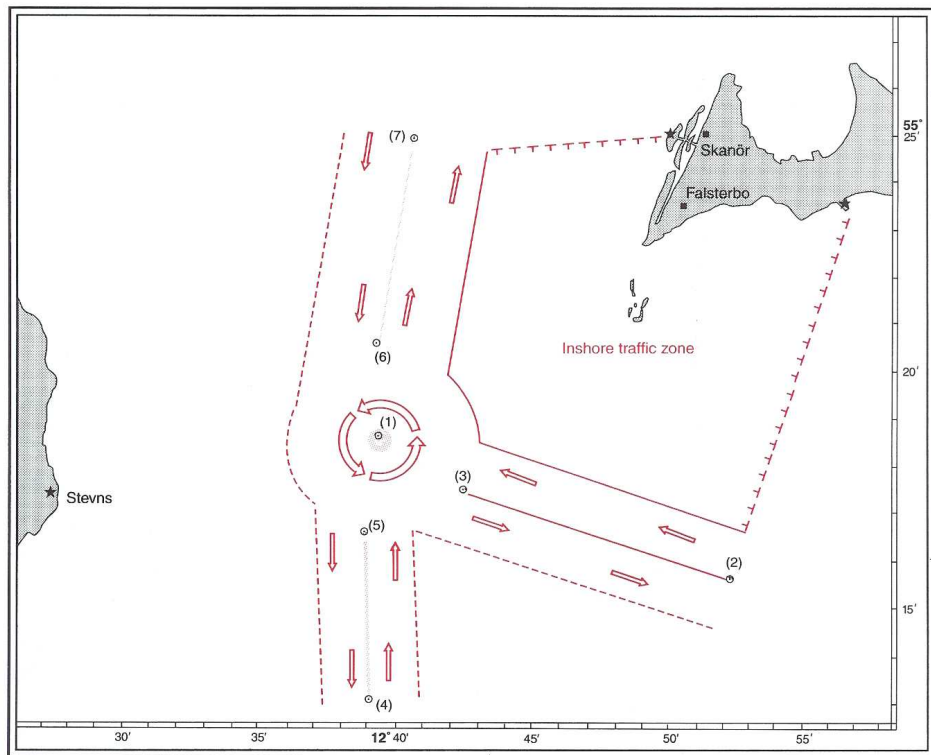
a) 항로의 연결부

- $55^{\circ} 18.60'N$, $012^{\circ} 39.50'E$ 의 위치를 중심으로 직경 0.5해리의 원형통항분리대 설정
- 원형통항분리대 외곽에 폭 1.75해리의 선회항로 설정

b) 통항로 및 항로의 분리대

- 통항로의 폭은 1~1.5해리로 설정

c) 통항분리방식의 육상측 경계선과 연안사이 해역을 연안통항대로 지정



<그림 4-16> FALSTERBOREV 외해

4.2.3 선회항로 배치

가덕도 부근해역은 앞의 교통조사 결과에서 보듯이 화물선, 여객선, 어선등의 다양한 선박이 이용할 뿐만 아니라 가덕수도 이동선박과 남해안~부산 이동선박 및 부산~거제도 이동여객선 등으로 인하여 교통량이 밀집되어 있다. 뿐만 아니라 가덕도의 지리적 환경으로 인해 부산방면에서 항해 선박이 가덕수도를 통과하여 출항하는 선박을 쉽게 식별 할 수 없을 정도로 굴곡되어 충돌사고 위험성이 높은 해역이다.

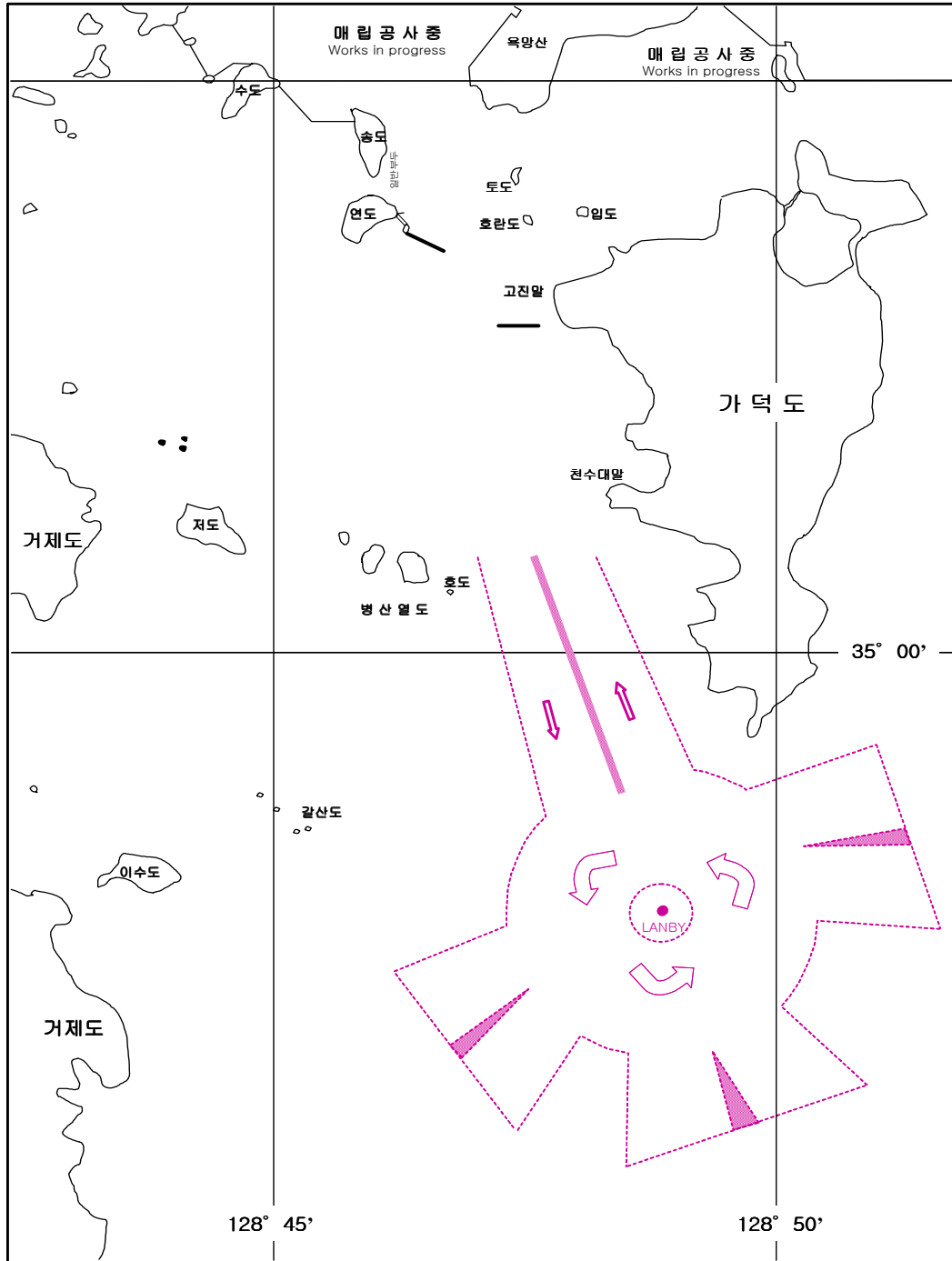
이에 따라 가덕도 부근해역에서 충돌사고를 최대한 감소시키기 위해 해상교통조사에 따른 교통흐름을 최대한 반영하고, 국내 연구사례·외국의 유사항로 사례를 고려하여 아래와 같은 항로설계 기본방침을 설정하였다.

- ① 가덕도 부근해역은 원형분리대(Circular Seperation Zone)와 통항분리방식이 혼합된 선회항로로 설정한다.
- ② 원형분리대의 크기는 직경 0.5마일을 표준으로 한다. 선박은 이 원주의 외곽을 반시계 방향으로 항행한다.
- ③ 선회항로는 교통의 주방향에 맞추어 출입구를 설정한다.
- ④ 선박의 교차는 직각에 가깝게 되도록 한다.
- ⑤ 선박의 합류는 소각도가 되도록 한다.
- ⑥ 선박의 분산은 대각도가 되도록 한다.

위 기본방침을 토대로 하여 <그림 4-17>과 같이 선회항로를 설정하였다.

LANBY는 가덕도 등대로부터 194°-2마일에 설치하였다. 원형분리대 직경은 0.5마일로 설정했으며, 선회항로 폭은 1마일로 하였다. 원형분리대의 연결

항로는 기존의 가덕수도 항로와 연결된 북측항로, 서도·목도·북형제도 방면의 동측항로(부산 방향), 외해수로 방면의 남측항로(남해안 방향), 옥포·장승포 방면의 서측항로(거제도 방향)로 나누어진다. 북측항로는 기존의 가덕수도를 그대로 사용하였으며, 교통조사 결과 부산-가덕수도 이동 선박의 경우 가덕도 측으로 가깝게 접근하여 항행하는 것을 고려하여 북측항로의 오른쪽 항로를 기존보다 약 600m 짧게 하여 가덕수도-부산간 이동선박이 원활하게 이동할 수 있도록 하였다. 동측항로의 경우에는 이동선박이 대부분 서도와 목도, 목도와 북형제도 사이를 통행하는 것을 고려하여 서도와 목도사이를 원활하게 항행할 수 있도록 하였다. 남측항로의 경우에는 외해에서 입항하거나 출항하는 선박이 보다 원활하게 항행할 수 있도록 북측항로와 거의 일직선으로 연결하였다. 서측항로의 경우에는 부산-거제도(옥포, 장승포)간을 왕복하는 여객선의 항로를 최대한 고려하였다. 또한 각 연결항로 중앙에 통항 분리대를 설치하여 선박의 출입을 구별하였다.



<그림 4-17> 선회항로

제5장 부산신항만 진입항로 및 가덕도 부근해역의 항로배치

5.1 항로배치 기준

5.1.1 부산신항만 진입항로 항로배치 기준

부산신항만 진입항로 항로배치는 제3장에서 살펴본 바와 같이 적정성 검증 및 시뮬레이션 결과 제4안이 보다 안전한 것으로 나타났다. 또한 압류시뮬레이션 결과 자연조건이 열악한 경우를 대비하여 서방파제 측으로 접근하여 입항하는 것이 주어진 조건에서 최선의 방법인 것으로 판단된다.

따라서 12,000TEU급의 대형 컨테이너선이 부산신항만에 안전하게 출입하도록 하는 것에 초점을 두고 전문가들의 의견을 최대한 반영하였을 뿐 아니라 압류 시뮬레이션을 통해 얻은 결과를 신중하게 고려한 후 항로배치를 결정하였다. 그 결과 부산신항만 진입항로 항로배치는 제4안으로 제안하고, 제4안을 기본안으로 하여 이용자 의견수렴 결과 다음과 같은 미비점을 보완하였다.

첫째, 동·서방파제가 연약지반에 축조되었고, 현재에도 침하가 진행되고 있음을 고려하여, 항로의 외곽선은 동·서방파제로부터 각각 100m 거리를 두고 설정하였으며, 가덕수도와 동방파제를 잇는 항로의 우측 경계선을 추가하였다.

둘째, 가덕수도 출항항로 변침부의 직각부분을 ACM(Apex or Cutoff Method)⁴⁾을 이용하여 확장함으로서 출항하는 선박의 대각도 변침을 피하고 원활히 출항할 수 있도록 하였다. 확장된 항로의 경우 가덕도 등대와 일직선으로 배치하여 항로의 등부표와 가덕도 등대와의 이중물표에 의해 선위를 쉽게 확인할 수 있도록 하였다. 뿐만 아니라 가덕수도 출항항로의 항로폭을 호도 전면에서 150m 줄여 기존항로의 12.9m의 등심선을 항로 바깥으로 설정하고 호도와 이안거리를 안전하게 확보하였으며, 이에 따라 경계해역(Precautionary Area)의 크기를 확장하였다. 항로배치 기본안은 <그림 5-1>과 같으며 각 지점의 좌표는 다음의 “항로의 좌표”와 같다.

셋째, 가덕도 연안을 주항로로 하고 있는 어선 및 여객선이 운항할 수 있는 연안통항대(Inshore Traffic Zone)를 가덕도 동두말 부근에서 천성만 북단까지 설정하였다. 현재 가덕도 인근의 어선 및 여객선은 가덕도 연안을 주항로로 하고 있으며 이러한 소형선이 항로상에 존재할 경우 부산신항만 입항을 위하여 저속으로 전진하며 정침해야하는 대형 컨테이너 선박에 많은 부담감을 줄 뿐 아니라 이에 따른 해양사고의 위험이 있기 때문이다.

5.1.2 가덕도 부근해역 항로배치 기준

가덕도 부근해역 항로배치는 제4장에서 살펴본바와 같이 해상교통조사에 따른 교통흐름을 최대한 반영하고, 국내 연구 사례, 외국의 유사 항로 사례를 고려하여 원형분리대와 통항분리방식이 혼합된 선회항로를 <그림 5-2>와 같이 지정하였으며, 그 좌표는 다음의 “선회항로의 좌표”와 같다.

4) 만곡부의 안쪽 꼭지점 부분을 절단하여 삼각형 형태로 항로폭을 확대하는 방법

5.2 항로배치

5.2.1 항로의 좌표

(1) 가덕수도 입구 측 우측 경계선 : 다음 두 지점을 연결한 선

① $34^{\circ} 58.98' N - 128^{\circ} 49.18' E$ ③ $35^{\circ} 02.88' N - 128^{\circ} 47.19' E$

(2) 가덕수도 입구 측 통항 분리선 : 다음 두 지점을 연결한 선

④ $34^{\circ} 58.79' N - 128^{\circ} 48.42' E$ ⑤ $35^{\circ} 01.48' N - 128^{\circ} 47.37' E$

(3) 가덕수도 좌측 경계선 : 다음 4지점을 연결한 선

⑥ $34^{\circ} 58.60' N - 128^{\circ} 47.69' E$ ⑦ $35^{\circ} 00.85' N - 128^{\circ} 47.02' E$

⑧ $35^{\circ} 01.77' N - 128^{\circ} 45.32' E$ ⑨ $35^{\circ} 02.47' N - 128^{\circ} 43.00' E$

(4) 부산신항만 출입 항로 좌측 경계선 등 : 다음 3지점을 연결한 선

⑩ $35^{\circ} 03.50' N - 128^{\circ} 46.75' E$ ⑪ $35^{\circ} 02.62' N - 128^{\circ} 45.70' E$

⑫ $35^{\circ} 03.32' N - 128^{\circ} 43.39' E$

(5) 가덕수도 서측 통항 분리선 : 다음 두 지점을 연결한 선

⑬ $35^{\circ} 02.19' N - 128^{\circ} 45.50' E$ ⑭ $35^{\circ} 02.89' N - 128^{\circ} 43.20' E$

(6) 경계구역(Precautionary Area) : 다음 4지점을 연결한 해면

② $35^{\circ} 02.02' N - 128^{\circ} 47.63' E$ ⑦ $35^{\circ} 00.85' N - 128^{\circ} 47.02' E$

⑧ $35^{\circ} 01.77' N - 128^{\circ} 45.32' E$ ⑪ $35^{\circ} 02.62' N - 128^{\circ} 45.70' E$

5.2.2 선회항로의 좌표

(1) 원형분리대

가. 다음 지점을 중심으로 하는 반경 0.25마일의 원내 해면

Ⓐ $34^{\circ} 57.76' N - 128^{\circ} 48.83' E$

나. '가' 바깥 선으로부터 폭 1마일의 해면

(2) 가덕수도 연결 북측항로

가. 가덕수도 기존항로와 만나는 아래점

㉞ 34° 58.60' N - 128° 47.69' E ㉟ 34° 58.79' N - 128° 48.42' E

㊸ 34° 58.98' N - 128° 49.18' E

(3) 옥포·장승포 연결 서측 통항로

가. 다음의 4지점을 연결하는 선 사이의 해면

㉡ 34° 57.64' N - 128° 47.32' E ㉢ 34° 57.22' N - 128° 45.98' E

㉣ 34° 55.84' N - 128° 47.41' E ㉤ 34° 56.70' N - 128° 48.04' E

나. 통항분리대 - 다음의 3지점을 연결하는 선 사이의 해면

㉥ 34° 56.62' N - 128° 46.72' E ㉦ 34° 57.10' N - 128° 47.55' E

㉧ 34° 56.46' N - 128° 46.87' E

(4) 외해수로 연결 남측 통항로

가. 다음의 4지점을 연결하는 선 사이의 해면

㉨ 34° 56.55' N - 128° 48.50' E ㉩ 34° 55.53' N - 128° 48.48' E

㉪ 34° 56.26' N - 128° 50.86' E ㉫ 34° 56.95' N - 128° 50.00' E

나. 통항분리대 - 다음의 3지점을 연결하는 선 사이의 해면

㉬ 34° 55.86' N - 128° 49.57' E ㉭ 34° 56.58' N - 128° 49.31' E

㉮ 34° 55.92' N - 128° 49.77' E

(5) 서도·목도·북형제도 연결 동측 통항로

가. 다음의 4지점을 연결하는 선 사이의 해면

㉯ 34° 57.67' N - 128° 50'35' E ㉰ 34° 57.60' N - 128° 51.55' E

㉱ 34° 59.22' N - 128° 50.94' E ㉲ 34° 58.82' N - 128° 49.68' E

나. 통항분리대 - 다음의 3지점을 연결하는 선 사이의 해면

- ㉟ 34° 58.30' N - 128° 51.29' E ㊦ 34° 58.33' N - 128° 50.19' E
 ㊧ 34° 58.49' N - 128° 51.21' E

5.2.3 연안통항대의 좌표

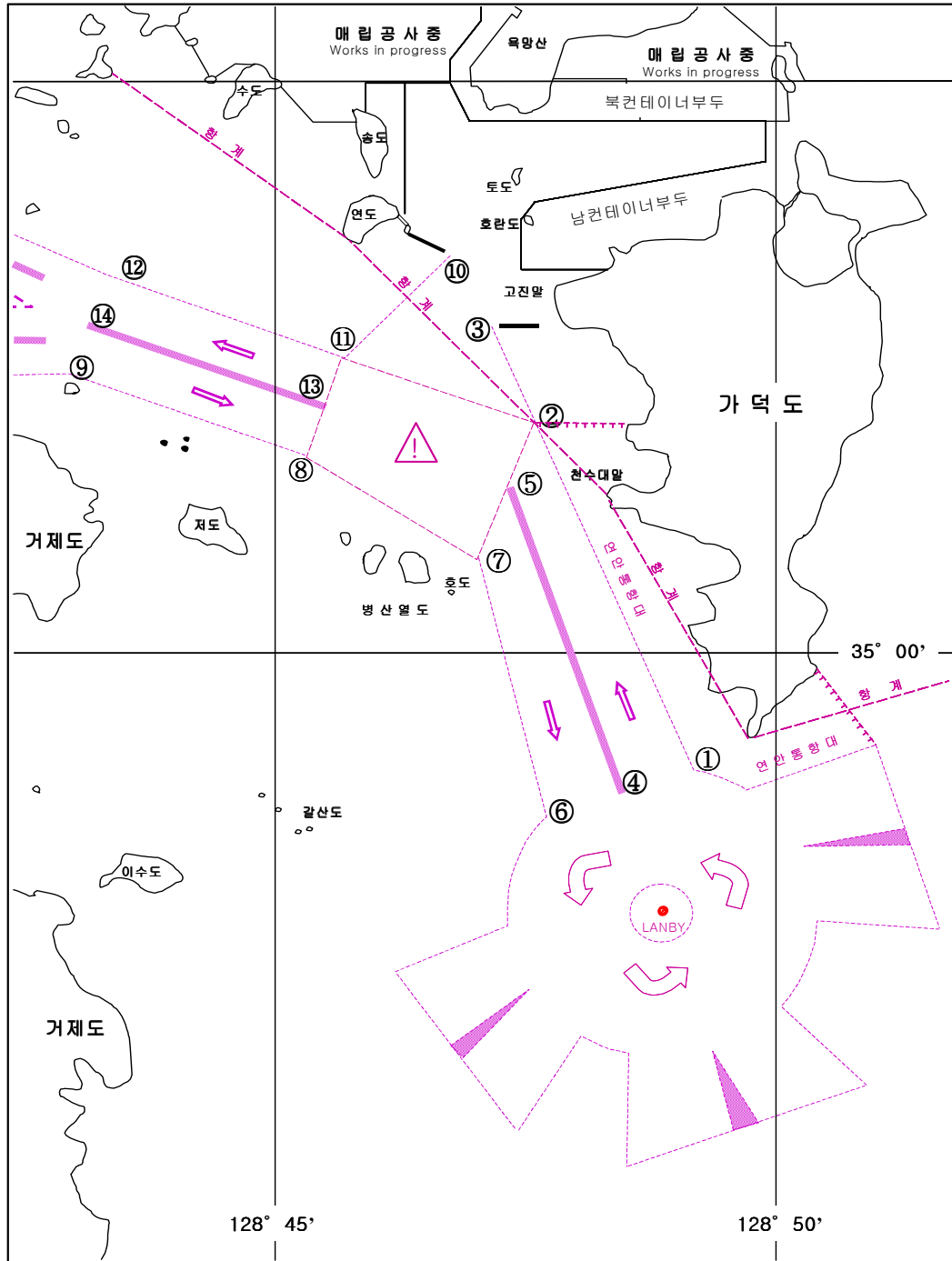
(1) <그림 5-2>의 다음 좌표를 순차적으로 연결한 선과 가덕도 해안 사이를 연안통항대로 지정한다.

- (a) 34° 59.80' N - 128° 50.43' E ㊨ 34° 59.22' N - 128° 50.94' E
 ㊩ 34° 58.82' N - 128° 49.68' E ㊪ 34° 58.98' N - 128° 49.18' E
 ㊫ 35° 02.02' N - 128° 47.63' E (b) 35° 02.05' N - 128° 48.43' E

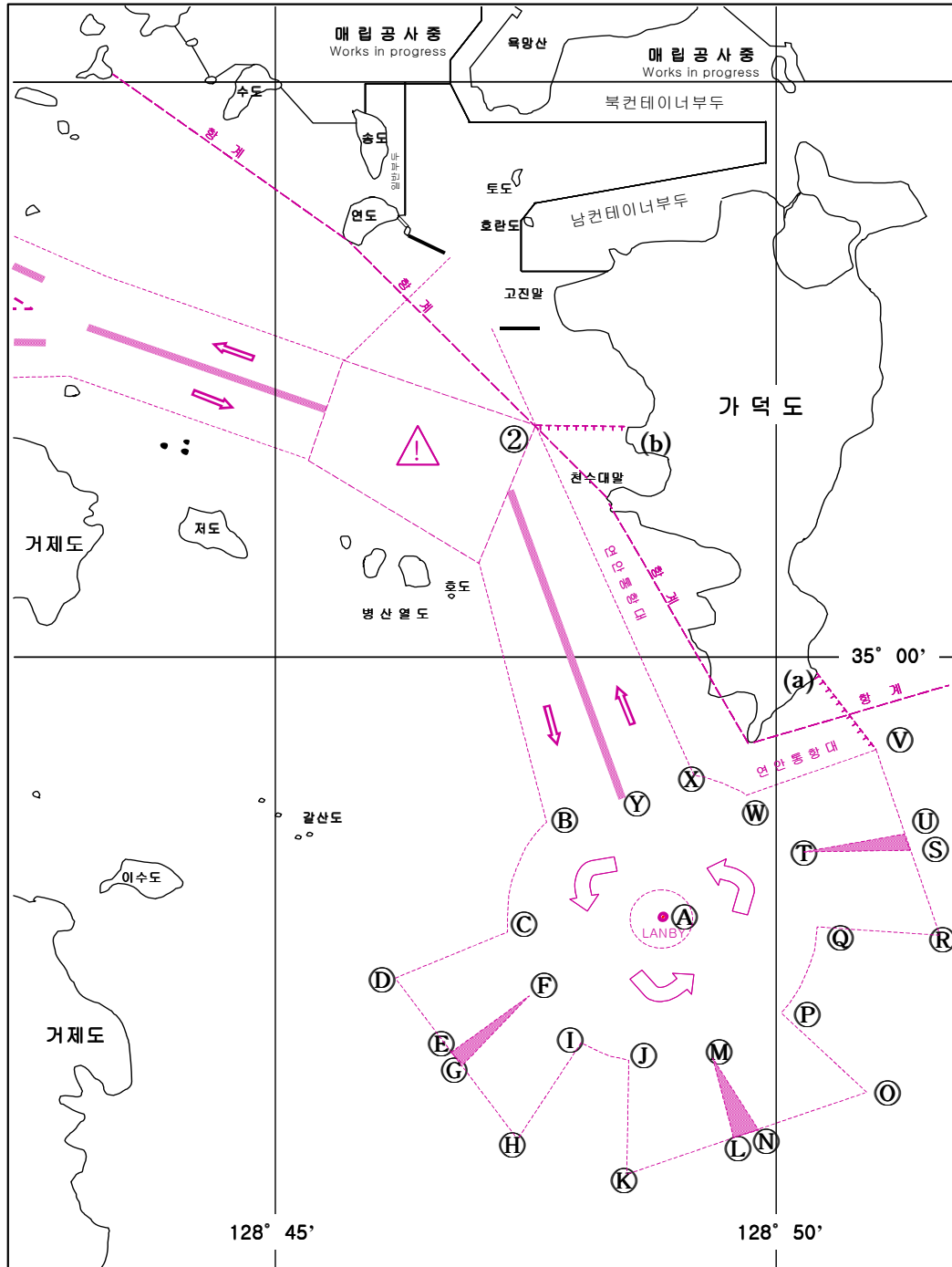
(2) 연안통항대의 항법

선박은 연안통항대에 인접한 통항분리수역의 통항로를 안전하게 통과할 수 있을 경우에는 연안통항대를 따라 항행하여서는 아니 된다. 다만, 다음 각호의 선박의 경우에는 그러하지 아니하다. <해상교통 안전법 제18조, 개정 2002.12.26>

1. 길이 20미터 미만의 선박
2. 범선
3. 어로에 종사중인 선박
4. 인접한 항구로 출입하는 선박
5. 연안통항대 안에 있는 해양시설 또는 도선사(도선사)의 승하선장소에 출·입하는 선박
6. 급박한 위험을 피하기 위한 선박



<그림 5-1> 부산신항만 진입항로 향로배치



<그림 5-2> 가덕도 부근해역 항로배치

제6장 결 론

2011년 완공을 목표로 건설중인 부산신항만이 개장하게 되면 가덕수도를 비롯한 인근해역의 해상교통량의 증가 및 초대형 컨테이너 선박의 출입이 예상된다. 부산신항만이 동북아시아 국제물류 중심항만으로서의 역할을 확고하게 수행하기 위해서는 대형선박들이 출입 할 수 있는 국제적인 경쟁력을 갖춘 항만시설은 물론, 안전하면서도 경제적으로 출입 할 수 있는 항로배치, 항로표지의 확충 등과 같은 안전시설의 구축이 필수불가결하게 요구되며, 최근 까지 이에 대한 연구가 꾸준히 진행되어 왔다. 그러나 선행 연구의 경우 대상 선박을 6,000~7,000TEU급으로 한정하여 최근 컨테이너 대형화 추세를 반영하지 못하였다. 따라서, 이 연구는 부산신항만 개발에 따른 교통량 증가와 초대형 선박의 출입에 대비하여 안전하고 경제적인 선박 통항이 이루어질 수 있는 항로배치를 설정하고자 하였다.

제2장에서는 가덕수도의 환경요소를 조사·분석한 결과 바람은 연평균 3.8m/s, 최대풍속은 25.7m/s였고, 풍향은 NE방향이 11.4%로 가장 높고, SSE방향이 1.3%로 가장 적었다. 조류는 최강 창조시 NNW 1.1kts, 최강낙조시 SSW 2.1kts였다. 선박조종 시뮬레이션에서 바람은 NE-20kts, 조류는 가덕수도의 경우 145°-2kts, 항내의 경우 270°-0.3kts를 이용했고, 횡압류 시뮬레이션에서 바람은 NW-20kts, 조류는 145°-2.1kts를 이용하였다.

제3장에서는 선행연구의 6,000~7,000TEU급의 컨테이너 선박을 기준으로 설계된 항로는 12,000TEU급 컨테이너 선박에 대한 적절한 평가가 불가능한 것으로 나타났다. 이에 따라 예측 기법 및 부산항 도선사 의견수렴을 거쳐

2개의 항로배치를 도출한 후 적정성 검토 및 시뮬레이션 검증을 통하여 서방과제 끝과 토도 남단을 일직선으로 연결한 항로배치를 제안하였다. 더불어 12,000TEU급 컨테이너 선박의 횡압류 시뮬레이션을 실시한 결과 서방과제 측으로 붙어서 입항하는 경우 보다 넓은 안전수역을 확보할 수 있어 기상악화시 선박의 통항 및 원활한 출입의 안전을 확보할 수 있는 것으로 나타났다. 이에 따라 부산신항만 진입항로 항로배치는 제4안으로 설정했다.

제4장에서는 가덕도 남단에서 해상교통조사를 실시하여 선박의 교통항적을 분석한 결과 총 4개의 주요 통항로를 확인하였다. 또 부산신항만과 교통흐름이 비슷한 부산항의 국내 연구사례에서, 선회항로에 대한 해상교통의 안전성을 정량화된 평가지표(ESA)로서 상호 비교·분석한 결과 선회항로에 의한 교통류는 방과제 부근을 제외하고 ESA 평균치가 500이하로 나타나 현행 통항분리대보다 ESA 평균치가 상당히 감소한 것을 알 수 있었다. 이에 따라 해상교통 조사 결과에 따른 교통흐름을 최대한 고려하고, 국내·외 연구사례를 고려하여 선회항로를 설정했다.

이와 같은 결과에 따라 다음과 같이 항로배치를 제시하였다.

첫째, 남컨테이너 부두 끝과 토도 사이를 통과하여 입항하는 선박에게 좁은 항내에서 최소한의 변침만으로 수로로 진입이 가능하도록 부산신항만 입구의 좌측 경계선을 서 방과제 끝 및 토도 남단과 일직선으로 배치

둘째, 부산신항만 출입 선박과 마산 및 충무항로로 진행하는 선박간의 교차지점에 대해서는 기존 항로의 폭을 300m 확장하고 경계구역으로 설정하여

선박간의 안전운항을 도모

셋째, 가덕도 연안을 주항로로 하고 있는 어선 및 여객선이 운항할 수 있는 연안통항대를 가덕도 동두말 부근에서 천성말 북단까지 설정

넷째, 가덕도 부근해역의 현행 교통흐름을 최대한 반영한 선회항로 배치

이 연구에서 제시된 항로배치는 2011년 부산신항만 개장으로 인한 해상교통량 증가와 대형선박의 출입을 감안할 때 선박의 안전한 출입에 크게 기여할 것으로 판단된다.

그러나 이 연구의 범위를 벗어나 미처 세밀하게 다루지 못한 사항으로서 차후 연구 및 검토되어야 하는 내용들은 다음과 같다.

(1) 이 연구의 대상 해역은 고속여객선 및 어선의 출입이 잦고 어로행위가 빈번한 해역이므로 추후 이들의 동향을 면밀히 관찰하고, 양식장 및 어업권 현황 등을 파악하여 특정해역으로의 지정을 신중히 검토할 필요가 있다.

(2) LNG 선박 및 여객선에 대한 안전대책 수립이 필요하다. 가덕수도를 따라 설정된 속력제한구역 내에서 부산신항만을 출입 하는 12,000TEU급 초대형 컨테이너선과 LNG 선박 및 고속 여객선 등이 조우 할 경우 사고 위험성이 크므로, 효과적인 관제 방안 수립, 여객선을 위한 항로배치, LNG선 출입시 항도선의 배치 등과 같은 안전대책에 관한 심도 있는 연구가 필요하다.

참고문헌

- [1] 강금식(1999), 현대통계학
- [2] 강영식(2001), 부산항 접근수역에 대한 해상교통안전성평가에 관한 연구, 공학석사 학위논문
- [3] 국립해양조사원(1982), 조류도(부산에서 여수)
- [4] 김민철(1997), 가덕신항만의 안전항해 유도를 위한 최적 항로표지 설치에 관한 연구, 공학석사 학위논문
- [5] 기상청(1982~2001), 기상연보
- [6] 김환수(1995), 선박의 안전을 위한 최적 항로배치 및 항로폭 결정에 관한 연구, 해양안전학회지, 제 1권 1호, pp.10~12.
- [7] 대영엔지니어링 외(2002), 부산신항 연결잔교 및 다목적부두 축조공사 대안설계 용역중 선박 조종 시뮬레이션 검토 연구용역
- [8] 박진수(2001), 증보 해상교통공학, 효성출판사
- [9] 박영수(2002), 부산항 접근수역의 항로지정에 관한 조사연구, 공학석사 학위논문
- [10] 부산지방해양수산청(2003), 부산신항 항로 표지 및 실시설계 연구용역 최종보고서
- [11] 윤점동(2004), 선박조종의 이론과 실무
- [12] (주) 한아엔지니어링 외(2003), 부산신항 남컨테이너 부두(1차)기본 및 실시 설계 용역중 선박조종 시뮬레이션 검토 연구용역
- [13] 한국해운신문(2003. 11. 24), 삼성중공업 세계 컨선 역사 새로 쓴다
- [14] 한국해운신문(2003. 12. 8), 대우조선, 5억 8600만불 선박수주
- [15] 해사신문(2003. 5. 23), 대우조선해양-세계 최대 컨테이너선 수주

- [16] 해사신문(2003. 11. 11), 컨선 대형화 추세 일반화 될 듯
- [17] 해양수산부(1996), 가덕신항만 개발 기본계획 용역 보고서
- [18] 해양수산부(1997), 부산신항만 방파제 실시설계 용역 보고서
- [19] 해양수산부(1997), 부산신항만 준설토 투기장 호안 등 실시설계보고서
(선박조종 시뮬레이션 및 항로검토 편)
- [20] IMO(1992), "Ships' Routeing" Amendments
- [21] ICORELS of PIANC(1980), "Optimal Lay-out and Dimensions for the
Adjustment to Large Ships of Maritime Fairway in Shallow Seas,
Seastraits and Maritime Waterways", Report of Working Group 4 of
PIANC, Brussel, Belgium.
- [22] Kongsberg Maritime Ship System AS(2002), Description of Ship
Model CNTNR19L Vessel Version 1